

> Winn L. Rosch 神代敏彦 **監**照

アスキー出版局



■商 標

IBM、PS/2、OS/2、PC/XT、XT、PC/AT、AT、Micro Channel は、米国 IBM Corporationの商標です。その他、本書で登場するシステム名、製品名は、一般に各開発メーカーの登録商標です。なお、本書では TM、®マークは明記しておりません。



The Winn L. Rosch Hardware Bible

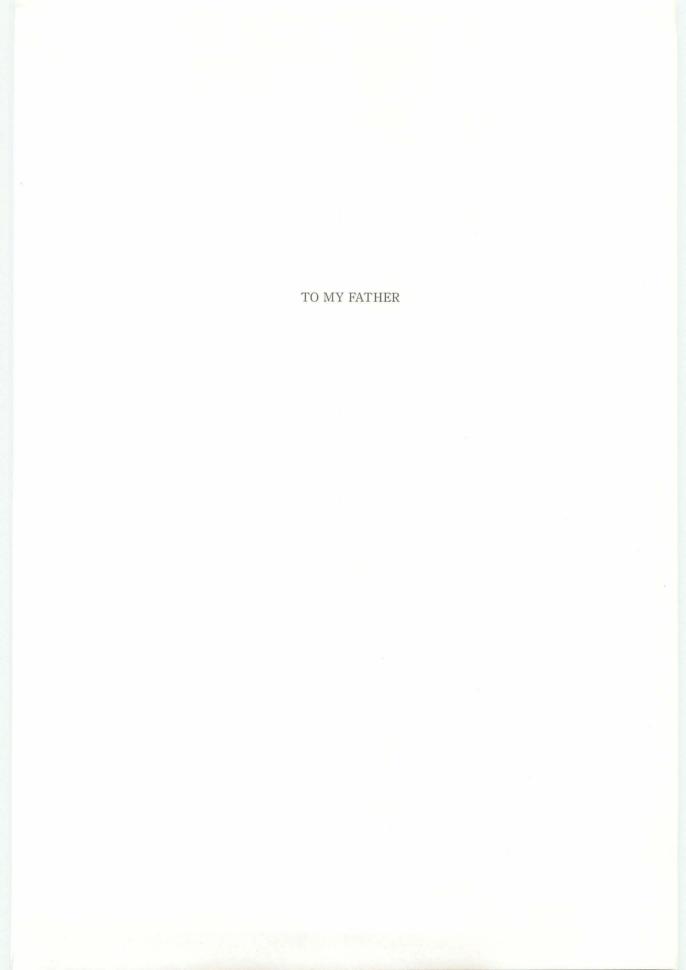
Winn L. Rosch

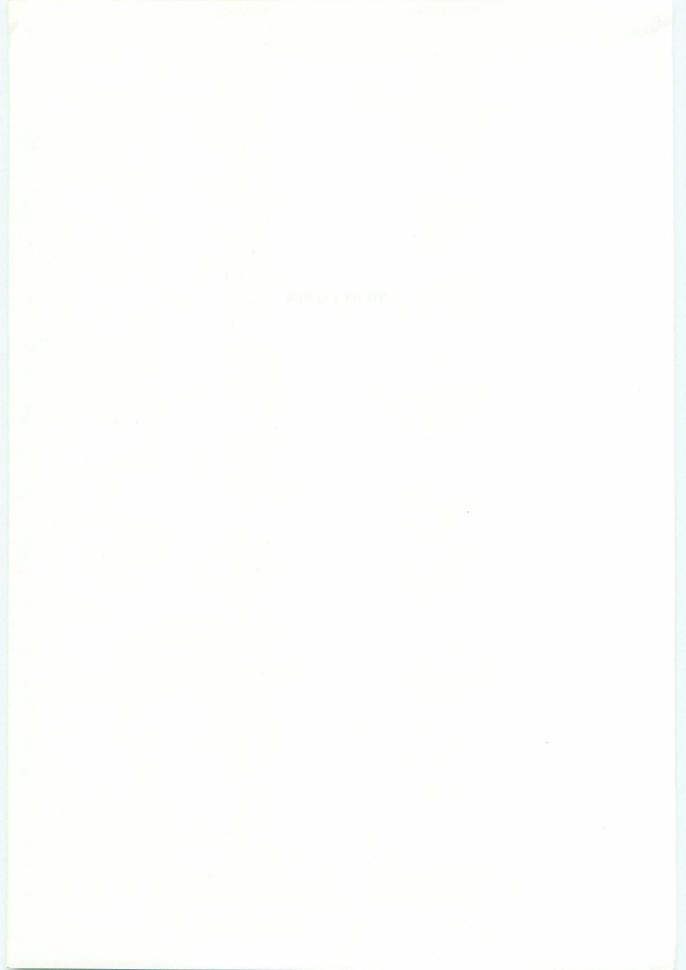
Authorized translation from the English language edition published by Brady Copyright @ 1992

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission in writing from the Publisher.

Japanese language edition published by ASCII Corporation Copyright © 1994

本書は、株式会社アスキーが、Brady Publishing, Prentice Hall Computer Publishing との契約に基づき翻訳したものです。日本語版に関する権利・責任は、株式会社アスキーが保有します。





序文

仕事のできない人に限って、仕事がうまくいかないと道具のせいにするものだ。しかし、同時にこういう人に限って、その道具の仕組みも理解せず、道具の善し悪しを見分けることもできない。誰もこういう人には、自分にとって重要な仕事――たとえば、自分の仕事の評価につながるもの、収入や予算に影響を及ぼすもの、あるいは、自分の休暇の予定を左右するもの――を任せたりはしないだろう。しかしあまりにも多くの人が、自分の仕事や趣味、家事に不可欠な道具――パーソナルコンピュータ (PC) ――について、無関心を公言してはばからない。

現在多くの人々に愛用されているパーソナルコンピュータは、エレクトロニクスのテクノロジーから生まれた、最も重要なビジネスツールである。パーソナルコンピュータは、業務の体系化、経理処理、人員管理といった各企業の業務のほとんどに必要不可欠なものになっている。実際、何らかの業務が行われているところでは、パーソナルコンピュータが活躍している場面を目にするはずだ。もし、この現代のビジネスツールを理解しないならば、割りの悪い仕事でもあればましで、仕事自体を失う羽目にもなりかねない。しかしながら、金槌やドライバーと違って、パーソナルコンピュータは、その覆い隠された神秘の世界に足を踏みいれたことのない人々の目には驚異の存在として映る。パーソナルコンピュータの修理に対して、心臓手術と同じ様な畏怖の念を抱いている人もいるだろう。しかし、我々のような人間は、コンピュータの内部を扱うことに対してそのような感覚を持つことはない。これは、恐らく専門の心臓外科医の心臓手術に対する感覚と同じである。つまり、心臓手術にしても、コンピュータにしても、それについて十分な知識と理解があれば、むやみに恐れを抱く必要はないのだ。あくまでコンピュータは、人間が作り、人間に使われ、人間に容易に理解されうる、ただの機械なのである。

コンピュータは、未経験の人にとっては近寄り難いものだが、これは考えてみればほかの道具でも同じことだろう。自動車の機械工はミシンを見てめまいを起こすかもしれないが、そのミシンを使って縫製工場や洋服屋で働く人は、車の整備など考えただけでお手上げかもしれない。コンピュータも例外ではない。実際、今日のパーソナルコンピュータは、分解、組み立て、パーツの取り替えや変更が簡単にできるように、あらかじめ配慮された設計になっている。ひどい扱い方をしたり、わざと壊そうとでもしない限り、一般的には、たやすく壊れてしまうものではない。パーソナルコンピュータは機械としては頑丈なほうで、故障も少ない。コンピュータ内のカードの交換は、トースターのような簡単な家庭用品の修理や、車のオイル交換などよりも、誰もが安全かつ容易にできる作業だ。

コンピュータを取り巻いているミステリアスな雰囲気は、コンピュータについて度々人を惑わすような解釈がなされることにその原因がある。まず第一に、コンピュータは「考える」機械といわれるが、そもそもこの「考える」という言葉が、コンピュータに対するすべてのばかげた意味のない思い込みを暗示している――考える機械は狂った心を持った機械で、デスクに居座って陰謀を企み、考え出した悪事の数々が際限なく人々を悩ますのだ。考える機械には脳があり、それを開けて中を細工するなどまさに脳手術だ。故障した機械は病人と同じで、未熟なオペレータが触ろうものなら、取り返しのつかない状態になってしまう。考える機械は、計り知れない複雑な方法で動いているに違いない。その複雑さは、偉人たちの多大な年月にわたる試みにもかかわらず、今日まで未だ誰一人十分な説明ができていない人間の心のようなものだ――と。

しかし、コンピュータは何かを考えたりはしない。少なくともあなたや、かのアインシュタインがするような方法でものを考えるわけではない。コンピュータは感情や動機をもって動作するわけではなく、コンピュータの中を伝わる刺激は、化学物質と電気を流したり止めたりする働きとの奇妙な混合物などではな

い。コンピュータで行われるのは、電気信号を正しく認識し正確に制御する単純な処理である。コンピュータの基本的な働きは、ただ炎が燃焼しているようにしか見えない自動車のエンジンの仕組みなどよりも、もっと理解しやすいものだ。コンピュータと呼ばれる考える機械には、ミステリアスなものなど何も隠れていない。

電気回路がベースになっているということが、コンピュータが何か恐ろしいものに思われてしまう一因であるかもしれない。たしかに稲妻で人が灰になってしまうこともあることを考えれば、電気は危険なものに違いない。しかし、コンピュータの内部にある危険性は実際は低い。コンピュータ内部では、最大でも12 ボルトの電流しか流れていないため、その安全性はおもちゃの電気機関車で遊ぶのと同じである。コンピュータ内部で人が簡単に触れられるようなところには、髪の毛が逆立ち、寿命が縮んでしまうほどの感電を引き起こすような電流は流れていない。パーソナルコンピュータは、修理や、アクセサリを付けたり外したりすることをあらかじめ考慮して設計されているのである。

コンピュータが繊細なものに思われてしまうのは、コンピュータを構成している電子部品が繊細で、1個500ドルもするとか、コンピュータを製造している人は感電したときの用心に水道管を握っているというようなことを、人々が勝手に想像しているからだ。事実、電子部品の中には非常に繊細で、実装してないときは細心の注意を払って保管しなければならないものもある。稲妻の百万分の1の電圧しかない静電気でも回路を損なう可能性があり、半導体チップの中の回路は人間の百万分の1の大きさで、人間よりもデリケートな存在である。しかし、当然回路は静電気がコントロールされている。たしかに稲妻の電圧やかなりの量の静電気のスパークは回路にとって有害だが、稲妻にしても静電気にしても、そのリスクを最小限にくいとめることは簡単にできる。大概の場所では、コンピュータの内部回路へのダメージを恐れる必要はほとんどない。

大抵の人がコンピュータに手を触れるのを嫌がる理由は、コンピュータ内部が非常に複雑に見えるからだが、これは真実でもありまた誤りでもある。すべては各人がそれをどう見るかによって決まる。たとえば、ビデオで映画を見ること自体について、いちいち考え込む人はいないだろうが、ビデオの中のワイヤヘッドのことや、画像がシンクロナイズされる仕組み、ハイファイサウンドが記録される仕組みなどについては、しばらくは頭を回転させなければ理解できないだろう。コンピュータもこれと同じで、ボードを交換したりディスクドライブを追加したりすることは、ビデオで映画を見ることと同様に簡単なことであり、一方、ボードの設計やボード上のデジタルゲートを制御するブール論理などを理解することは、ある程度の技術知識を必要とするのである。

オペレーティングシステムが複雑になるに従い、逆にコンピュータの操作の仕方は簡単になってきた。今ではマウスを動かして画面上のウインドウを指し示すだけで、数分で熟練したコンピュータオペレータになれる。これで十分だという人がいるかもしれないが、それはコンピュータと自分自身の可能性を大きく閉ざしていることになる。自分が使っているシステムについて理解を深めない限り、パーソナルコンピュータが持つ全ての能力を引き出すことはできない。また、新たに何かを追加してパーソナルコンピュータをパワーアップさせることもできない。少なくとも、買ったマシンが自分の目的に最も適ったものであるかどうかを知ることはないだろうし、また、値段の張るマシンより、シンプルながらも機能的には優っているモデルがあるということを知ることはないだろう。

コンピュータについて熟練者である必要はないし、コンピュータやデータ処理の理論についての詳細な知識も必要ない。しかし、パーソナルコンピュータを使って自分は何をやりたいのか、またどんなことができるのか、そして、パーソナルコンピュータというシステムを動かし、機能を拡張し、さらには組み立てるための方法やポイント、問題点などについては、やはり理解しておく必要がある。

本書の目的は、コンピュータを恐れるのではなく有効に活用できるように、現在とこれからのパーソナルコンピュータを理解する一助となることである。そのため、本文の構成は、コンピュータシステムの構

成要素が概観しやすいように配慮した。本書で検討された内容からは、コンピュータが動く仕組みについて十分な基礎知識が得られるだけでなく、さらに一歩進んだ探求や、システムの拡張やアップグレードなどの際に必要となる解説や情報も盛り込んである。同時に、ここで得られた知識を実際に応用するために参考となる資料も図や表にまとめて掲載した。専用のアダプタやケーブルを自分の手で作ろうという人にとっては参考となる内容もあるはずだ。全体として本書は、パーソナルコンピュータに対する理解を助け、コンピュータや周辺機器の選択にあたっては必要な情報を提供し、加えて、コンピュータシステムに対する理解を深めるための入門書としても有効なものとなったと思われる。

コンピュータは恐ろしいものでもミステリアスなものでもない。コンピュータは単なる機械であり、しかも、機械としては単純で、本書を読むわずか数時間で習得可能な機械なのである。

目 次

	IP X	ζ	7
第	1章	■ 業界標準	17
	1.1	PCの起源 ······	20
		IBMの戦略 ·····	
	1.3		
	_		
第	2章	マザーボード	31
		小型コンピュータの設計	
	2.1	小型コンヒュータの設計・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	33
	2.2	回路ボードの様々な名称	35
	2.3	マザーボードの構成要素・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	3/
	2.4	プリント基板技術・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
	2.5	システムボードメーカー	39
	2.6	マザーボードの外観	40
第	3章	■ マイクロプロセッサ	<u> </u>
	3.1	マイクロプロセッサの仕組み	
			50
	3.2	プログラミング言語	······ 50 ····· 54
	3.2	プログラミング言語	54
		プログラミング言語・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	······ 54 ····· 56
	3.3 3.4	プログラミング言語 ····································	······ 54 ····· 56 ···· 61
	3.3 3.4 3.5	プログラミング言語 マイクロプロセッサの構造 マイクロプロセッサの内部 マイクロプロセッサの分類 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	54 56 61 62
	3.3 3.4	プログラミング言語・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	54 56 61 62
	3.3 3.4 3.5 3.6	プログラミング言語 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	54 56 61 62
第	3.3 3.4 3.5 3.6 3.7	プログラミング言語・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	54 56 61 62 63
第	3.3 3.4 3.5 3.6 3.7	プログラミング言語・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	54 56 61 62 63
第	3.3 3.4 3.5 3.6 3.7 4章 4.1	プログラミング言語 マイクロプロセッサの構造 マイクロプロセッサの内部 マイクロプロセッサの分類 マイクロプロセッサの位置 マイクロプロセッサの系統 数値演算コプロセッサ	54 56 61 62 63 63
第	3.3 3.4 3.5 3.6 3.7 4章 4.1 4.2	プログラミング言語 マイクロプロセッサの構造 マイクロプロセッサの内部 マイクロプロセッサの分類 マイクロプロセッサの位置 マイクロプロセッサの系統 数値演算コプロセッサ 基本原理 アドレス指定	54 56 62 63 63 85 88 90
第	3.3 3.4 3.5 3.6 3.7 4章 4.1 4.2 4.3	プログラミング言語・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
第	3.3 3.4 3.5 3.6 3.7 4章 4.1 4.2	プログラミング言語 マイクロプロセッサの構造 マイクロプロセッサの内部 マイクロプロセッサの分類 マイクロプロセッサの位置 マイクロプロセッサの系統 数値演算コプロセッサ 基本原理 アドレス指定	54 56 62 63 83 88 90 92 92

第	5章	■ メモリ	107
	5.1 5.2	一次記憶装置と二次記憶装置 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	110
	5.3	ROM	
	5.4	メモリの働き ····································	
	5.5 5.6	メモリスピート ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
	5.7	メモリのパッケージ	
	5.8	メモリエラー・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	140
第	6章	■ 拡張バス	143
	6.1	バスの基本構成	
	6.2	最初のPC/XTバス ····································	
	6.3	16ビットATバスへの拡張	
	6.4	マイクロチャネルアーキテクチャ	
	6.5	EISA ·····	
	6.6	ローカルバス	
	6.7	PCカード	188
第	7章	■ BIOS	191
	7.1	BIOSの目的 ······	
	7.2	BIOSの欠点・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
	7.3	ハードウェアの直接制御	195
	7.4	BIOSの互換性 ······	
	7.5	BIOSの性能 ······	
	7.6	PC BIOSの基本 ······	
	7.7	BIOSの補足機能 ····································	209
第	8章	■ サポート回路	213
		チップセット・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
	8.2	タイミング回路	216
	8.3	割り込みコントローラ	223
	8.4	DMA ·····	226
	8.5	このほかのサポート機能	229

筆 C	音	■電源	221
		፪源技術 ······	
		ペーソナルコンピュータ用電力の必要条件	
	9.3 7	ペータブルコンピュータの電力	237
		<u> </u>	
		デスクトップコンピュータの電源 ····································	
		3 圧保護	
		5電圧保護	
	9.8 電	②力装置の認定	252
第1	0章	■ ケース	259
	10.1	機構	261
	10.2	表置の取り付け ······	267
	10.3	冷却 ····································	
	10.4	無線周波数の放射・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
	10.5	規制範囲	
	10.6	FCCクラス ·······	
第1	1章	■ 入力装置	285
	11 1	キーボード・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
	11.2	マウス	
	11.3	トラックボール	
	11.4	ジョイスティック	
	11.5	解像度	
	11.6	ライトペン	310
	11.7	タッチスクリーン	311
	11.8	ペンコンピューティング	
	11.9	そのほかの入力装置	313
	11.10) 割り込み動作	313
第1	2章	■ ディスプレイシステム	315
	12.1	ディスプレイの基礎	317
		ブロックグラフィックス	
		ビットマップグラフィックス	
		ビデオコントローラ	
		バスの接続	
		グラフィックアクセラレータとコプロセッサ	
		グラフィック操作環境	

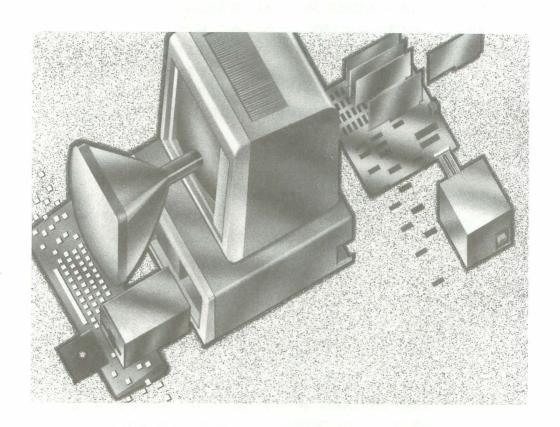
第	3章	■ ディスプレイアダプタ	343
	13.1 13.2 13.3 13.4 13.5 13.6 13.7 13.8 13.9	モノクロームディスプレイアダプタ	350 358 363 370 372 373
第	4章	■ ディスプレイ	381
	14.1 14.2 14.3 14.4 14.5 14.6 14.7 14.8 14.9 14.10		
第	15章	■ パラレルポート	421
	15.1 15.2 15.3 15.4	データのパラレル伝送・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
第	16章	■ プリンタとプロッタ	431
	16.1 16.2 16.3 16.4 16.5	プリンタのメカニクス ····································	

	16.7	用紙の処理	461
	16.8	消耗品	465
	16.9	プリンタの共有	466
	16.10) プロッタ	470
		意識 ハードディスク	
第	7章	■ シリアルポート	— 477
	17.1	同期通信と非同期通信	48N
	17.2	シリアルハードウェア	
	17.3	シリアルポートの動作方法	
	17.4	DTE同士の通信 ····································	
	17.5	シリアル通信のトラブル診断	
⇔″	l Ωæ	■ モデム	E01
רל			
	18.1	モデムの働きの原理	
	18.2	チャネルの限界	
	18.3	モデムの変調方法	
	18.4	高速モデム	
	18.5	モデムの規格	
	18.6	全デジタルダイヤルアップ通信	
	18.7	モデム制御	
	18.8	モデムの特徴	
	18.9	モデムの接続と使用	
	18.10		
	18.11	FAX	536
笋	9音	■ 大容量記憶システム	543
77			
	19.1	磁気記憶装置	
		データ圧縮	
		シーケンシャルアクセスとランダムアクセス ····································	
		デバイスレベルのインターフェイス	
		システムレベルのインターフェイス	
		キャッシュ	
举)Næ	■ フロッピーディスク	E00
プラ 4			589
	20.1	メディア	591
	20.2	フロッピーディスクドライブ	599

	20.3	ドライブとケーブルの構成	606
	20.4		609
	20.5	ディスクの管理	611
第	21章	■ ハードディスク	613
	21.1	名称の付け方 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	616
	21.2	ハードディスクを理解する	617
	21.3	ディスクの中身	
	21.4	読み書きヘッド・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	623
	21.5	ディスクのジオメトリ	
	21.6	ドライブアレイ	
	21.7	ドライブのパッケージ	
	21.8	ディスクの性能	
	21.9	ハードディスクの購入	672
	21.10) ハードディスクのインストール	675
	21.11		
	21.12	2 ハードディスクのフォーマット	683
第	22章	■ 光学記憶装置	687
VIII T	22.1	CD-ROM ······	
		WORM ······	
	22.3	************************************	
	22.4	フロプティカル記憶装置	
	22.7		7,00
44	72=	■ = →	707
	とリ早	■ テープ _{背景}	707
	23.1	背景	709
	23.2	オープンリールテープ	710
	23.3	3480カートリッジ	
	23.4	カセットテープ	713
	23.5	1/4インチカートリッジ	715
	23.6	ミニカートリッジ	718
	23.7	ヘリカルスキャンシステム	724
	23.8	標準規格外のテープシステム	726
	23.9	テープ操作	727
	23.10) そのほかの注意点	
	- 表 3		733

第章

業界標準



パーソナルコンピュータとは何かを定義することは、実際に自分がその仕事を命じられるまでは、とても簡単なことに思われるだろう。しかし、いざその課題にとりかかると、パーソナルコンピュータという言葉は、(生物学者たちをぞっとさせるような考えだが)まるで、アメーバとカメレオンの異種交配の産物のようなものに、みずからを変えてしまう。

たとえば、文字どおりにとらえるなら、パーソナルコンピュータとは、複数のオペレータによって共有されるものではなく、単独の個人によって使用されることを意図したマシンということになろうか。しかしこの定義では、高価なグラフィックワークステーションからワープロ専用機のたぐいまで、その仲間に含まれてしまうことになる。

あるいは、処理能力を基準にすれば、パーソナルコンピュータはメインフレームやミニコンピュータより処理能力の低いもの、といった定義も可能なように思われるかもしれない。しかし、今日ではもはや、処理能力のみでコンピュータを区別することはできない。今日のパーソナルコンピュータのなかで最高速のものは、ほとんどのミニコンピュータをやすやすと凌ぎ、低価格のメインフレームに匹敵するほどである。また、価格でパーソナルコンピュータを定義するのは、あまりにも現実味に欠ける方法だ。価格範囲が広すぎて、どこにも有効な境界線を引くことができないのだ(実際、いたるところで、新品のパーソナルコンピュータが、200ドルから 20,000ドルといった幅で売られているのを目にするだろう)。

では、初めてこの言葉を公に用いたマシンである、初代のIBM パーソナルコンピュータ (IBM PC) を基準にして定義を試みたらどうだろう。ただし、このマシンは十数年も前の製品で、今日のパーソナルコンピュータの世界にはほとんど関係のない、電子機器の骨董品のようなものではあるが。

初代のIBM PC は、出発点という役目を果たしたといえる。初代のPC は、すでに生産を停止されて久しいが(最後に生産されたのは1984年)、漠然としていたパーソナルコンピュータという概念を具体化したものとして、現在でも意義のあるマシンだ。IBM PC は、現在知られているようなパーソナルコンピュータテクノロジーの土台に位置している。すなわち、パーソナルコンピュータの最初の標準になったシステムなのである。そして、パーソナルコンピュータにこのような標準ができたことは、ほかのブランドのパーソナルコンピュータが成功を収めるのに、大いに役立つことにもなった。しかしその一方では、当然の結果ながら、同じ標準を維持することで、コンピュータの設計は過去のテクノロジーに閉じ込められてしまい、その進歩は緩慢なものになってしまった。

今日、パーソナルコンピュータの処理速度は初代の PC の 100 倍も速いとはいえ、いまようやく、最初の設計によってもたらされた限界を飛び越えようとしているところだ。初代の PC とそれを受け継ぐマシンが、確固たる地位を築いてしまったため、これまで、この標準から逸脱するような新技術の受け入れは、遅々として進まなかった。現状からなかなか離れようとしないこの緩慢な動きには多くの理由があり、それがゆえに、IBM 自身でさえ欠陥があることを認めている最初の設計に、パーソナルコンピュータは現在でも変わらず従い続けているのだ。

しかし同時に、このパーソナルコンピュータ産業は、ようやく IBM PC という標準を超えて、新しく、より便利な処理能力の高いマシンに向かって進み始めている。新しいアーキテ

クチャやオペレーティングシステムによって、IBM PC が発表当時に想像されたものを超える、高速な処理能力が次々ともたらされつつある。しかし、最新のコンピュータハードウェアも、その起源は初代の PC にある。そういう意味では、パーソナルコンピュータの定義と、その動作の仕組みについて検討を始めるにあたって、今日までのパーソナルコンピュータの歴史を振り返ってみるのも、意味のあることだろう。

1.1 PCの起源

ちょうど 1980 年代の幕開けとともに始まった 10 年間にわたって、フロリダ州ボカラトンにある IBM の Entry Systems Division で、一見気まぐれだが、その実は実用的な数々の決定が下されなかったなら、本書は存在しなかったであろうし、パーソナルコンピュータ業界も、今日の形では存在していなかっただろう。その決定は、1981 年8月12日、IBM PC の発表とともに頂点を迎えた。

IBM PCは、この大改革が始められた当初に、 理想主義者たちが目指したものからはほど遠く、 一部の限られた人たちが使用するマシンとして作 られた。当時の IBM 内部の情報筋によれば、PC は約10万台の販売台数が期待でき、おもにコン ピュータの可能性の探求に熱心なホビイストたち の心を動かすだろう、といわれていた(しかしもち ろん、ホビイストたちは誰ひとり、この電子機器 の骨董品を使って実務的な作業を行おうなどとは 思っていなかった。実際には、実務的な計算処理作 業は、依然としてメインフレームコンピュータの 世界で行われていたのだ)。このときすでに、ホビ イストたちは、ほかの小型コンピュータを使って プログラミングの探求を始めていた。そして IBM PCは、それらとはまったく別のむのと見なされ ていた。

IBM PC が作られた理由は、次のように推測できるかもしれない。たとえば、ホビイスト市場での足掛かりを得ようとした。あるいは、ニューテクノロジーの分野を探求するツールとして利用されることを目指した (IBM 自身は、すでにスーツケースサイズのポータブルマシンである、「モデル5100」という小型コンピュータを作っていた)。あるいはまた、そもそもこのプロジェクトは、興味を持った IBM の一部のエンジニアが、会社の公式の許可のもとで、純粋に挑戦してみたかっただけのものかもしれない。

このような市場の状況を頭におけば、最初のパーソナルコンピュータの設計に影響を与えていたもののひとつは理解できる。このマシンは、コスト

ダウンを実現するために設計上多くの妥協がなされ、ほかには特別な意図はなかった。振り返ってみると、パーソナルコンピュータの設計において、偶然と思われる要素のほとんどが、じつは IBM のみごとな手腕によるものだったのかもしれない。コストダウン以外の目的を持たなかったおかげで、この至ってシンプルな創造物は、多種多様な分野で成長し、多くの主人に仕え、真の汎用コンピュータになりえたといえるのだ。

IBM PC がリリースされた最初の数ヶ月間、世界の人々と同様に、IBM 自身も驚きの連続であった。供給をはるかに上回る需要、その結果の品不足。信じられないような、そして思いもかけない利益を手にした IBM 公認ディーラーたちは、小さなシリコンが大変な価値を持っていることを知った。

日和見主義的な設計

パーソナルコンピュータの動作のメカニズムや、 拡張の方法、設定の変更の方法について十分に理 解したいのなら、IBM の最初の設計において、妥 協されるにいたった問題点について検討すること から始めるとよいだろう。ただし、なぜこんなに もいろいろな部分で成功を収めたのかは推測の域 を出ない。この初代の PC の裏側にある本当の動 機や設計上の諸決定は、永遠に IBM の機密事項で ある。PCの成功は、IBMの、偶然に何かを見つ け出す才能と、実際的で要点をついた意志決定の 両方に、等しく起因していると考えるのが、可能 な限りでは最も正しい推測であろう。IBMは、小 型コンピュータがホビイストたちに受け入れられ、 徐々に小規模の事務処理でも使われ始めている状 況を、なんとか利用したいと考えていた。そして、 デスクトップコンピュータが、そこに絶好の機会を 提供した。IBM は、このチャンスを見逃すわけに はいかなかった。かつて IBM は、ミニコンピュー タでチャンスを摑みそこなっていたのである。大 方の産業アナリストたちは、1970年代から1980 年代当時の第2位のコンピュータメーカーであっ

た Digital Equipment Corporation (DEC) の驚くべき成功の理由を、IBM がミニコンピュータ分野へ、素早く完全に移行できなかったことにあると考えている。

IBM 最初の純正デスクトップマシンを開発する ために、IBM のエンジニアたちが最初に行ったこ とは、すでに市場にあって、三々五々マイナーチェ ンジされていた小型コンピュータの数々のアイディ アと、IBM 独自の新製品を開発するにあたって発 明された革新的な技術を、吟味、取捨選択し、融 合することだった。そして製造にあたっては、も し製品が不発に終わっても損害が大きくならない ように、市場に広く流通している部品や、ほかの メーカーが製造しているコンポーネンツを、マシ ンの大部分に使用するようにした。また、万一失 敗しても、彼らの本業であるメインフレーム関連 の重要な製品の生産に、即座に戻れるような態勢 をとっていた。設計コンセプトは、ホビイストの おもちゃになっていたマシンから借用し、また、 半導体部品については、市場で広く入手可能なも ので、かつそれ専用の特殊な設計作業を必要とし ないものを、巧みに利用した。そして、オペレー ティングシステムは、小型ビジネスコンピュータ に使用されていたなかで、最も普及率の高いもの をベースに開発を行った。

競合コンピュータメーカー

PCの設計にあたって、こうした設計要素があえて採用された理由を理解するには、当時の小型コンピュータ市場において、何が起こっていたのかを思い出す必要がある。1980年、"パーソナルコンピュータ"という言葉はまだまだ進化の途中にあり、ハードウェアも同じ状態だった。「典型的な」小型コンピュータは出現しておらず、この用語は、特定のタイプのマシンを示すものではなかった。設計の種類も多岐にわたり、今日に比べると、設計における選択範囲も広範だった。製造メーカーはそれぞれ、最適な設計を行うための独自のアイディアを持っていたが、それでも、実際に利用されていた小型コンピュータを分類すれば、そのほとんどが3つの大きなグループのいずれかに属していた。これらのグループのうちの2つは、それ

ぞれ1つのメーカーによって完全に押さえられた 形になっており、残りの1グループは、共通のオペレーティングシステムで統合されていた。

Apple Computer

デスクトップコンピュータの競合製品のなかで、その寿命と支持率の点で最も注目すべき製品、つまり最も少ない変化で最も長い間生き残ったマシンは、過去そして現在においても、最初の「Apple II」である(先行機の「Apple I」は、商品というよりも、設計努力の結晶というようなもので、かつてHewlettーPackardのエンジニアであったSteve Wozniak と、想像力に富んだセールスマンとしてもっとも注目されたSteve Jobsによって、ガレージの中で産み出された)。Apple IIの設計は、革新的で工夫に富んだものだった。その特徴とテクノロジーについては、IBM PCの設計について本書で検討していくなかで、詳しく知るところとなろう。

最初の Apple II は、初期のシングルボードコ ンピュータのひとつとして、また、補助装置(お よびそのほかのオプション類)が接続できる、専 用の拡張バスを特徴としたコンピュータとして、 ひとつの道を切り開いた。Apple II は、(少なく とも基本機能については)シングルプロセッサを ベースとし、これによって動かされるべきものは すべて、1枚の(かなり大きいものではあるが)ガラ スエポキシプリント基板 (PCB: Printed Circuit Board) 上に実装したという点で、シングルボード コンピュータであった。増設される PCB は、拡張 バスによって、マイクロプロセッサにほぼ直結さ れた形で接続された。シンプルさと実用性、そし てコストダウン効果を上げるという理由から、電 子回路が組み込まれている本体に、キーボードま でも一体化した。

Apple II の中央演算装置は、8 ビットの演算処理を毎秒約1万回 (1MHz) の速度で実行できる、「6502」という集積回路だった (当時としては画期的なチップ選択である)。

今日のパーソナルコンピュータと比べれば、 Apple II はまだまだ発展途上のものであった。 Apple II の最初の設計は簡単なもので、小文字 のアルファベットはなく、画面には1行40桁のテキストしか表示できなかった。また、搭載されていたメモリは、わずか8Kバイトで、永久記憶装置の容量をより大きくするために、半導体メモリからオーディオカセット装置の磁気テープ上に、データを転送できるようになっていた。

しかし、Apple II は、それ以前に登場していたコンピュータと比べれば、買って箱から出してプラグを差し込むだけで、すぐにコンピュータとして使えるという点で、画期的なものであった。それ以前の小型コンピュータでは、すくなくとも普通程度の技術知識と、確実に動作することさえ保証されていない部品を組み立てる、退屈な作業に耐える忍耐力、そして、「実際にこれは動くのだ」という、知識と忍耐を超えた"信念"のようなものまで要求されているのが普通だったのだ。

Aplle はこのあとすぐ、その後のすべてのパーソ ナルコンピュータにおいて標準となった、特徴的な 機能をいくつか追加した。80桁の小文字アルファ ベット、ビットマップグラフィックス、「Apple DOS (Disk Operating System)」で制御されるディス ク装置である。ただし、これらの機能が必要にな ることは、最初の設計であらかじめ予見も考慮も されていなかったため、機能追加にあたっては、 きわめて巧妙な(そして十分に検証された)設計が 必要だった。そして結果として、一応動作はする が、中途半端な追加物の集合体になってしまった。 スクリーン上では連続している文字データのメモ リ構成が、複数のメモリブロックに分散されてし まったのは、その一例である。いまになってみれ ば、簡単な調査をするだけで、Apple II の設計上 のこれらの弱点はすぐに明らかになるので、ほか のメーカーの設計では、このような問題は容易に 回避されている。

■ Tandy / Radio Shack

PCの前身ともいえる小型コンピュータ設計の第二陣は、"Radio Shack"という旗の下に結集した。電池や玩具類から、時計、電話にいたるまで、ありとあらゆる製品を販売する、町角の電気店として有名だった Radio Shack が、様々なテクノロジーやマイクロプロセッサ、オペレーティングシ

ステムをベースにして、多種多様なマシンを製造することになり、小型コンピュータも、その広範な取り扱い製品のひとつに加えられることになった。Radio Shack がこのように、バラエティーに富んだ製品を扱っていたのは、より広い市場へアピールしたいとの意図からである。IBMから最初のマシンが発表された当時、リーダー的存在のマシンといえば、モニターとキーボードと本体が一体になった「TRS-80」というデスクトップコンピュータで、「Z80」マイクロプロセッサが採用されていた。このマシンでは、カセットとフロッピーが両方使用でき、フロッピーのほうは「TRS-DOS」―その中傷者にも支持者にも、TRSをもじった
"Trash"(屑)DOSという名で広く知られていた―を使用していた。

しかし、モデル名にこじつけた悪いあだ名を付けられたこともひとつの理由として、このコンピュータのブランドは、市場から消えることになった。このくだらないあだ名ができた数年後には、Radio Shack の親会社である Tandy Corporation は、TRS という名称だけでなく、「Radio Shack」のラベルも製品から外すことを決め、名前を付ける代わりに、暗示的な意味をほとんど持たない、モデルナンバーで呼ぶことにしたのだ。

TRS-80の長所のひとつは、大文字と小文字で80桁のテキストが表示できる点である。一方、最大の欠点はその形で、前世代のキャデラックのテイルフィンに美的興奮を感じる人にだけ、魅力的に映るような類のものであった。あらゆる部分が、丸みを帯びた曲線でデザインされ、表面のプラスチックには金属加工が施され、ビジネスマンよりはむしろ、好事家にうけるような代物だった。

CP/M

小型コンピュータの3番目のグループは、「CP/M」(Control Program for Microcomput ers) オペレーティングシステムの周りに集まった。 CP/M は、当時、とてもポピュラーで性能の高いマイクロプロセッサであった「8080」と「Z80」を、フロッピーディスク装置と一緒に使用できるようにするものだった。 CP/M は、その安さと有効性から広く利用され、標準となるにいたった。

テレタイプのインターフェイスは、独立した端末装置と中央演算装置で構成されるコンピュータシステムで使われており、装置間をつなぐ細いワイヤーを通して、1回に1ビットずつ転送が行われるように設計されていた。CP/Mベースのコンピュータは、これと同じインターフェイスを使って、小文字を含む80桁のテキストを、テキスト専用ディスプレイに表示できるという特徴を持っていた。

マイクロプロセッサとオペレーティングシステ

ムの結合は、ワープロから経理事務まで、ビジネスにかかわる繁雑な業務を処理するのに、十分な能力を生み出した。これはまさに、ビジネスにおいて求められていたものであり、この結果、CP/Mコンピュータは、デスクトップマシンのなかで、業務用の標準機となった。80年代の初めごろ、CP/Mでは、ほかのどのオペレーティングシステムよりも多くの、ビジネス専用ソフトウェア(数十行を越えるBASICコードからなるものもあった)が使用できた。

1.2 IBMの戦略

IBMにとって、このような環境は、PCを作るひとつのきっかけになった。このころまでに、小型コンピュータ市場は、年間数万台におよぶ流通規模にまで拡大し、あきらかに無視できないほどの大きさになっていた。IBMにとって、この成長の基盤にあるのがビジネスユーサーであるならなおさらである。IBMという社名のまんなかの"B"は"Business"の頭文字であることを思い出してほしい。

名誉挽回

これに加えて誘因要素となったのは、IBMが、旧世代のミニコンピュータにおいて失敗したことである。市場が小さく、利益も少ないことを理由に、IBMが、段階的に高まっていくコンピュータ勢力の第一段階を黙殺していたとき、DECは小型コンピュータにおいて有力な足掛かりを得て、着実に後続機の開発にいそしんでいた。DEC製品のユーザーが、より高い性能を持つコンピュータに移行していくのに従い、DECはユーザーの求めるマシンを作って彼らに随従し、絶えず成長を続け、ついには IBM の最大のライバルになったのである。

小型コンピュータの新たな勢いを目の当たりに した IBM は、早急に、ただし最少のリスクで、市 場に参入することを決定したのだった。

市場獲得計画

この目的を達成するのに最も有効な手段は、おそらく "買収"という戦略を突き進めることだったろう。IBM は、小型コンピュータの製造メーカーを買収したり、その会社と製品を、自分の本社機構に統合してしまうことは簡単にできた(事実、あとになって IBM は、Rolm Corporation を買い取り、コミュニケーションビジネスに大きく足を踏み入れ、徐々にこの会社を IBM の本流へと組み込んでいった)。たしかにこの時点において、買収すべき対象が Apple であることは自明の理だったが、Apple は、IBM がターゲットとしたタイプではなかった。当時の Apple の製品は、ビジネス用のアプリケーションに照準を定めたものではなく、相も変わらずホビイストたちを相手にしており、IBM が目的とする市場には参入していなかった。

また、当時 Apple は、一企業としてもコンピュータ製造メーカーとしても、実績というものがほとんどなかった。しかしこれは、小型コンピュータの製造から始まったほかの会社すべてにいえることで、そもそもこの業界自体が古いものではなく、各会社の歴史が浅いのは当然のことである。とはいってみてもやはり、Apple は創業したばかりの何の実績もない弱小企業であり、その将来性を不確定なものと考えるのは、常識的な判断である。さらに、Apple 唯一の製品である Apple II は、設

計自体が良いものとはいいがたく、IBM のビジネス専用マシンという製品コンセプトにも合うものではなかった。

Radio Shack を取得することは、この代替案としては無理があった。Radio Shack および親会社の Tandy Corporation は、たしかに利益という明確な実績は持っていたが、コンピュータ自体は、その利益に対してほとんど貢献していなかったし、量販店においても、コンピュータの全売り上げに占める割合は、ごくごく小さなものだった。これではまるで、一杯のコーヒーを手に入れるために、レストランを買うようなものである。

ほかの小型コンピュータメーカーは、Radio Shack に比べても、なおさら魅力に欠けるものだった。いずれにしても IBM は、"マイクロコンピュータファクトリー"と楽天的に呼ばれていたどこかの誰かのガレージを、あえて自分のものにする必要など、まったくなかったのである。

自社開発戦略

IBM にとって、自社独自のマシンを開発することは、まったく無理な話ではなかった。IBM はすでに、持ち運び可能な外形(といっても、実際のその姿と持ち運びに必要な腕力は、そのイメージからはほど遠いものだったが)を持った「モデル5100」という小型コンピュータを作っていた。5100 にはフロッピーディスク装置は搭載されておらず、そのような技術革新の恩恵を受けない製品だった。本来は IBM 社内で使うことを目的に作ったもので、市販用ではなかったのだ。

マイクロプロセッサの選択

IBM PC を、マイクロプロセッサをベースにして構築すべきだったことは、疑うまでもないだろう。そもそも、小型コンピュータを実用的でかつ生産可能にしたのは、優秀なチップであった。問題は、どのチップを採用するかということだった。

Apple が選択した 6502 は、1981 年にはもはや時代遅れと見なされていた。8 ビットチップである 6502 は、一度に 8 ビットしかメモリのデータを読み書きせず、また約 1MHz のクロック周波数でしか動作しないからだ。Z80 搭載の CP/M マシン

によって得られた性能に比べると、6502 の処理能 力は見劣りがする。

Z80 も 8 ビットデータエンジンであるが、命令処理の点で効率が優っており、6502 よりも速く動作することができる。しかし、それにも増して Z80 マシンに大きく味方した重要な点は、巨大な CP/M ソフトウェアライブラリだ。IBM は、Z80 をベースにしたマシンを設計しようとして、マーケティングの問題にぶつかった。 Z80 ベースのマシンでは、既存の CP/M マシンの一群の中で目立つことは、難しいと考えたのである。もし IBM が CP/M コンピュータを作っても、ほかの製品に対してハードウェアとしての優位な点などなく、IBM の販売部隊が、マーケティングに利用できるような謳い文句のひとつもなかっただろう。

一方、Intelの「8088」は、Z80にたいへんよく似た仕様で、ソフトウェアをその上で走るように移植することが簡単にできた(少なくとも当時はそのように考えられていた)。さらに、8088はZ80に優る2つの重要な違いがあった。Z80よりも内部レジスタが広いことと、メモリのアドレッシングエリアが大きいことである。

8088は、情報が8ビット単位でチップを出入り するという点では、たしかに8ビットプロセッサ であるが、16ビットのレジスタを持っているため、 内部処理の多くは16ビット単位で実行される。ま た、Z80 は 65,536 バイトのメモリ (64K バイト) しかアドレスできないのに対し、8088 はその16 倍、つまり 1,048,576 バイト (1,024K バイトまた は1M バイト) まで扱うことができた。8088 は、 少なくとも Z80 よりは優れた潜在能力をもつマイ クロプロセッサだったのである。しかし、80年代 初めには、もっと強力なチップを使用することが 可能だった。たとえば、8088の前に作られた上位 製品の「8086」は、パッケージこそ大きかったが、 8088 と同様に、16 ビットの内部アーキテクチャと 広いアドレッシングエリアをもち、さらに外部に 対して16ビット接続を使用していた。この違いに よって、同じ周波数で動作させる場合でも、8086 は8088の2倍の速さにできる潜在能力をもって いた。

しかし、IBMが8086というフル16ビットパ

ワーを採用しなかったのには、十分な理由がある。80年代初頭、マイクロプロセッサのサポートチップの価格は、今日と比べてたいへん高かった。これはメモリも同じことで、たとえば、1M バイトのメモリの価格が現在50ドル程度とすると、最初のPC が発表された当時は、16K バイト (1M バイトの 1/64) のメモリでもそれと同じぐらいの値段だった。フル16 ビットバスの構造など採用してしまうと、そのコンピュータのコストは、相当に高くなってしまうのである。

マーケティング上の手段として16ビットアー キテクチャを採用することは、IBM PC の設計を 担当したエンジニアたちにとっては、おそらく何 の意味もなかっただろう。これは、8088が内部的 には16ビットであったため、実質的には8ビット だった PC を、あとから再度 16 ビットコンピュー タとして宣伝できたことがおもな理由だ。性能は 現実的な問題ではなかった。8086を使えば優れた マシンになるが、市場では性能はまったく要求さ れていなかった。要するに、コンピュータは持つ こと自体に意義があり、8ビット設計と16ビット 設計の性能の違いを比較することは、無意味だっ たのである。8ビット設計のほうが、より簡単に より早く設計でき、また、16ビット設計と比較し ても、市場における不利な点はなく、費用も少な くて済む(これはたいへん有利な点である)。結果 として、8088のほうが、8086よりも人々に受け入 れられたのである。

ほかのチップは、選択の対象に加わることができなかった。Motorolaの「6800」はフル16 ビットチップだったが、ひとつには同じくフル16 ビットである8086 と同様の理由から、もうひとつには簡単に CP/M を移植できないという理由から、このレースには敗れた。Texas Instruments 系のマイクロプロセッサも、また同様の理由で負けた。その結果として、8088 が選ばることになったのである。こういう結果になったひとつの理由は、IBMの気まぐれとか移り気な決定のせいというよりも、性能を向上させていくことが、マイクロコンピュータにおける大きな課題であると認識する、先見の明を欠いていたことである。

メモリの問題

マイクロプロセッサか決まったら、次に選択しなければならないのはメモリである。これについては、様々な面から検討されなければならない。コンピュータシステムのメモリは、物理的(どのような種類のメモリをどのように接続すべきか)かつ論理的(メモリの各ロケーションをどの用途に割り当てるべきか)な見地から設計されなければならない。これに加えて、プログラムとデータの保管領域である、"マスストレージ"も決定しなければならない。

メモリの物理的な検討課題、すなわち、使用するハードウェアは、簡単に決定された。PCが初めて設計された当時は、16,384 バイト (16K バイト)のメモリが最も大量に流通しており、経済効果もあった。ほとんどの競合マシンも、これをベースにしていた。

このメモリの中でも、特に経済的で最も普及していたタイプは、1次元配列、つまり、1ビットの情報を格納する番地が16,384個あるという構成をとっていた(ほかのタイプのチップは、1つの番地が4ビットで、一回に1/2バイト、すなわちニブル単位で記憶していた)。この1次元チップの場合、構造が1次元であるため、バイト単位の情報を保管するには、最低8個のチップが必要である。

基本であり、最小でもある8個のメモリチップに対し、IBMは、さらにもう1個のメモリチップを加えた。メインフレーム業界では、データの保全は極めて重要な問題であり、このため、大型コンピュータは、メモリエラーを検出し、可能であればそれを修正するための複雑な機構を備えている。IBMは、メモリの品質に対する保険として、メインフレームで使用されていた方法、つまりメモリビットが無作為に変ってしまった場合に、それを検出するシステムを、PCに採用することにした。データ保全に重点を置くというこのアプローチの仕方は、IBMが数年間にわたって行った、パーソナルコンピュータに対する様々な試みを特徴的に表わしている。

最も簡単にできるエラー検出の方法は、1 バイト中のすべてのビットを加算した結果に、さらに特別なパリティビットを加えた結果が、つねに偶

数になるようにするというものである。1 ビットが変化してしまうと、合計が奇数になるため、エラーが発生したことがわかるわけだ。この特別なパリティチェックビットには、8 個のメモリチップのほかに、1 個余分に RAM チップが必要になる。こういうわけで、PC は 9 個のメモリチップを装備していたのである。

「これからのプログラムは、16K バイトのような小さなメモリでは、ほとんど動かないだろう」と考えた IBM のわずかな先見の明により、PC にはメモリを追加するためのスペースが用意されることになった。合計で27個の空きソケットによって、最初の PC は、64K バイトまでメモリを増設することができた。また将来の可能性を考慮し、512K バイトまでシステムを拡張できるように、拡張 RAM ボードをインストールする際の規定も作られた。512K バイトは、当時はまだ不慣れだった IBM のエンジニアたちが、これだけあればどんなプログラムの必要も必ず満たせるだろう考えた容量である。

IBMのエンジニアたちは、8088のアドレッシングエリアの残り半分に、特定の用途を割り当てた。この中の一部分は、画面に表示される画像を電子的な形式で記憶する場所、すなわち "ビデオメモリ"として割り当てられ、残りの部分は、まとめて"BIOS (Basic Input/Output System)"と呼ばれている、ROMに常駐させるプログラム用のエリアに割り当てられた。これらの用途を割り当てられたメモリエリアのうち、実際に使用されたのはごく限られた一部で、ビデオメモリ用の4Kバイトと、BIOS 用の16Kバイトの合わせて20Kバイトたらずであったが、IBM はこれらのメモリ領域がいつか必要になることを確信していた。

マスストレージについて IBM は、ほかのパーソナルコンピュータメーカーがすでに使用していたのと同様のオプションを、ほとんど無差別に採用した。当時としては小型であった、5.25 インチのフロッピーディスクなどは、おあつらえ向きだった。というのは、これはすでに、小型コンピュータで使用されていたものだったし、5.25 インチフロッピーの従兄弟にあたる8インチのフロッピーディスクについては、「ディスプレイライター」の

ような製品で経験済みだったからだ。

しかし、当時は、マスストレージに巨大な容量が必要とされることを、だれ一人として予見していなかったため、実際には2面使うことができるディスクを、片面しか使用しないことになった。これにより、容量は160Kバイトに限定されたが、おかげで安価なドライブが使用できた。今日の標準と比べれば、この容量はじつに貧弱なものだが、ほかの小型コンピュータが、80K~130Kバイトのドライブを使用していた当時にしてみれば、格段に大きかったのである。

ただしIBMは、マスストレージにおける自らの賭けに関して、初代PCではカセットポートを用意することで、いざという場合の逃げ道を用意した。500ドルもするフロッピードライブの代わりに、既存の20ドルのポータブルテープレコーダで、プログラムやデータの記憶だけでなく、他人とのファイルの交換もできるようにしたのである。しかし、カセットテープは遅くて不便であり、あとから考えれば、特にPCとっては不適当な代物だったといえる。ただ、対象とするユーザーが絞られていなかったPCにとって、もしホビイストがその主要なマーケットになっていたら、現在でもカセットポートを使用するユーザーがいたことは確実だ。

初代 IBM PCの基本設計には、新技術が反映されている。マシンはマイクロプロセッサをベースにして構築されており、マシン自体が、本質的にはチップの拡張部のようなもので、マイクロプロセッサに情報を与え、結果を受け取るという動作の必要性を満たすように拡張されていった。マイクロプロセッサベースの設計では、必要不可欠な回路はすべて1枚の PCB 上に配置されることから、"シングルボードマイクロコンピュータ"と呼ばれる。Apple(およびそのほか多くのコンピュータメーカー)と同様に、IBM は補助装置の増設のために、このボードに拡張スロットを用意した。

IBMは、CPUでさえも拡張ボード上に搭載されるような、バスをベースにしたPCを設計することもできた。しかし、よくよく考えればこの方法は排除される。つまり、必要な回路すべてが必ずしも1枚の拡張ボードに収まるとは限らないか

らだ。このため、IBM は PC を設計するにあたって、システム回路の大部分が収まる 1 枚の大きな回路ボードを使用することにし、様々な拡張は、このシステムボード上で行うことにしたのだ。

BASIC 言語

コンピュータを有効に使用するには、プログラ ムが必要である。そしてその必要を満たす方法は2 つある。ひとつは、"アプリケーションソフトウェ ア"(または単に"アプリケーション")と呼ばれる、 既製品のプログラムを使用することで、このソフ トはコンピュータにロードしさえすれば動作させ ることができる。もうひとつは、プログラミング言 語を使う方法で、コンピュータのユーザーはこれ を使って、自分でプログラムを書くことができる。 PC が発表された当初、PC 用のアプリケーション の数はごくわずかで、ほとんどが IBM の要請を 受け入れて作ったようなものだった。さらに、巣 立ったばかりのこの PCが、最も受け入れられた のはホビイスト市場で、彼らホビイストたちは、 自分の手でプログラミングを楽しもうとしていた。 実際、当時のホビイストたちは、あたかも貯水池 のように、自分以外の人にも、アプリケーション という"水"を供給していた。PCは、このホビイス トの欲求に、素晴らしい機会を提供した。という のは、アプリケーションを走らせるこの安いハー ドウェアが、アプリケーションの開発に利用でき たからである(これに対し、初期の小型コンピュー タの多くは、ソフトウェアの作成には、ホビイス トには手が出せないような、たいへん高価な開発 用システムが必要だった)。

PC が採用したプログラミング言語は、「BASIC」 (Beginners' All-Purpose Symbolic Instruction Code) と呼ばれるもので、その名が示すように、本来は、初心者でも容易に習得できる言語として作り出されたものである。ほかにも、多くのプログラミング言語があったにもかかわらず、IBM が、PC に BASIC を搭載しようと考えたのは、小型コンピュータメーカーやホビイストたちに、この言語が受け入れられていたからだ。また、メモリの少ないマシンでも使用可能なほど、規模の小さい言語であり、モデル5100 における IBM

自身の経験があったという理由もあった。5100 では、BASIC のほかにも「APL」(A Programming Language) というプログラミング言語も使用されており、多くのユーザーは、こちらを好んで使っていたのだが、選ばれたのは BASIC のほうだった。

IBM は、BASIC の基本ルーチンを、書き換えることのできない ROM チップに入れた。マスストレージはもともと、最初の PC ではオプションだったので、マシンの内部にプログラミング言語が登載されていないと、ただの植物状態も同然になってしまう。BASIC は、マスストレージのないマシンでも、制限付きながら使用できるようにしたのである。ROM チップに BASIC を搭載することによって、ディスクドライブがなくても、プロンプトの状態でプログラムを入力すれば、いつでもそれを走らせることができ、フロッピーディスクドライブが買えないほどけちな人でも、カセットテープにプログラムをセーブしたり、ロードすることが可能になった。

初めのうち、プログラマの中には、マシンに標準装備されている BASIC 言語を使って、アプリケーションを書く者もいた。第一世代の PC と互換性を取るため、そしてこのソフトウェアを、将来も引き続き使用できるようにするため、BASIC 言語はその始まりからずっと、あらゆる IBM のパーソナルコンピュータの標準となっている。しかし、勢揃いした互換コンピュータが、どれひとつとっても BASIC を内蔵していないのを見ればわかるように、内蔵された BASIC は、いまや時代遅れの不要物である(当然のことながらこれらのクローンマシンは、プログラムを作成したりプログラムを実行するために、BASIC に限らず、それ以外のプログラミング言語をディスクからロードできる)。

ディスプレイシステム

操作をモニターするために、つまり、自分が入力した内容や、記憶装置からロードした内容を見たり、計算の進行過程を目で追ったり、その結果を読んでチェックするために、どんなコンピュータでも "ディスプレイシステム" が必要である。

最初の PC 用のディスプレイシステムは、IBM

が、数多くのオフィス用コンピュータの端末装置 を作る過程で得た経験を土台に設計された。これ ら IBM の粋を集めたディスプレイシステムの特 長は、鮮明さ、読みやすい文字、ちらつかない画面 を求めていた人々を魅了した。これに加えて IBM は、情報を表示し、その表示を保持する様々な方 法を一元化して、データを電子的に構成する特殊 な技術を採用した。IBM は、PC を設計するにあ たって、メインフレームコンピュータに普及して いた技術や、コンピュータでは典型的になってい る技術から離れた。たとえば、コンピュータには "テレタイプビデオディスプレイ"と呼ばれる技術 がある。その仕組みは、その名が示すとおり、"テ レタイプ"と呼ばれる、自動的に動作するタイプラ イターのような装置によく似ており、コンピュー タが文字列を端末装置に転送する際に、"キャリジ リターン"によって1行ごとに分けて送るという ものである。テレタイプのインターフェースを使 用すると、コンピュータは、画面のどの場所に表 示するかを考えずに、1行の文字列を送り出すた め、ディスプレイ端末装置の回路が、コンピュー 夕に代わって、送られたテキストを、画面のどこ に表示するか判断することになる。前の行の下に 次の行というように、各行は上から下へ順に表示 されていき、画面がいっぱいになると、端末装置 の回路が、一番古い行を上方に押し出して画面か ら消し、全体を上方へスクロールして、一番下に 新しい行を表示するスペースをつくるのである。

Apple のコンピュータでは、これとは別のディスプレイシステムが採用されていた。それは、独立した端末装置を持つコンピュータシステムに対抗して、内蔵型のディスプレイシステムを持ったコンピュータシステムに適合し、そういうシステムでより融通性が発揮される技術だった。"キャラクタマッピング"と呼ばれるこの技法は、次のようなものである。まず、画面をキャラクタが置かれる位置を示すマトリックスに分割し、キャラクタの配置場所ひとつひとつにメモリを割り当てる。ディスプレイシステムは、このマップの中に記憶された、キャラクタの名前(コード)に対応するドットパターンを、別の場所にあるフォントライブラリ(ROM か RAM に搭載される)の中から見

つけ出し、ホストのマイクロプロセッサに関係なく、そのドットパターンの情報を画面に送り出す。この技法の長所は、マイクロプロセッサとメモリの立場から見ると、速くて効率がよいということである。マイクロプロセッサとメモリは、キャラクタのコードを扱うだけでよく、80(行)×25(列)の画面にテキストを表示する場合、動かしたり記憶したりするデータは、2Kバイトだけですむ。さらにこの技法では、表示動作を行うためには、完全な端末装置は要らず、ディスプレイ(基本的な構成要素としては、ブラウン管と制御回路)しか必要としないため、端末装置のコストを大幅に削減できる。

プログラマはこの技法によって、画面上のキャ ラクタの位置決めを、簡単にかつ確実に行えるよ うになった。プログラムは、ディスプレイメモリの マトリックスの適当な位置に、キャラクタのコー ドを書き込むだけでよくなった。これに対し、テ レタイプシステムを使用した場合、プログラマに は、画面上のキャラクタの絶対的な位置を保証す る確実な方法がなかった。可能な限り最善の方法 として、端末装置に各列の最初のキャラクタを配 置する位置を教える、"ポジショニングコード"を 使用していたのであるが、この場合、プログラマ およびプログラムは、端末装置に転送されたキャ ラクタの数を記憶しておくか(こうすれば、キャラ クタが次の行にいつ移動するかが分かる)、1つの キャラクタごとにポジショニングコードを送らな ければならない。どちらの方法を採っても、単純 にマトリックス上の位置を選択するよりも、プロ グラマの作業量が多くなることには変わりはない。

IBM 方式のキャラクタマッピングでは、ディスプレイのキャラクタが置かれるマトリックスに、ある特別のバイトが追加されている。このバイトは、キャラクタの属性(アトリビュート)に関する情報を格納するためのもので、これにより、たとえば暗いとか明るいといったキャラクタの照度や、アンダーラインを付けるとか、反転して表示するといったようなことが指示される。IBMもまた、合計4Kバイトのメモリエリアを使用して、画面上の文字ひとつひとつに、キャラクタとアトリビュートのバイトを割り当てる方法を選んだ。この手法

は一見よさそうに思えるが、キャラクタバイトとアトリビュートバイトのメモリ上の開始位置が、別の場所に分かれているため、アトリビュートを瞬時に書き込める点が効果的なだけである。どち

らが優れているかを判断するのは難しいが、ちょっとしたプログラムで、PCの表示システムを直接制御したいのなら、使用されている実際の仕組みを理解することが大切である。

1.3 キーボード

ディスプレイシステムは、コンピュータが現在 何を行っているかを知る手段としては、たいへん 優れたものだが、PCとやり取りする、あるいは、 PCに何をすべきが伝えるといった作業には、別の 助けが必要である。この作業を行うのがキーボー ドだ。キーボードの場合も、ほかのデバイス同様 に、様々な設計が可能である。Apple Computer は、Apple II を作るにあたって、キーボードを物 理的かつ電気的に、コンピュータと一体化させる 手法を提示した。一方 IBM は、業務用機器におけ る自らの経験をもとに、使用者側がある程度自由 な位置にキーボードを置けるように、本体にコー ドでつなぐ形をとった。この分離型キーボードは、 コンピュータの回路に直接接続する代わりに、細 いケーブルを通して信号を送るため、キーボード からの全信号を、決まった形式に変換しなければ ならない点で、電気的な設計は複雑になる。しか し、前述のとおり、自由に置く場所が選べること や、壊れてしまったときや新しいタイプのものが 必要になったときでも、ユーザー自身が簡単に新 品と交換したり、別のキーボードに取り替えたり できるという、分離型ならではの融通性があり、 苦労して設計するだけの価値はあった。

キーボードもディスプレイシステムも、初代 PC における IBM の基本概念のほんの一例である。 IBMは、すでに市場にあったマシンの中から、最適なコンセプトだけを選び出し、そこに改良を加え、工夫に富んだ1台のコンピュータへと結晶させた。基本的に、IBM PCは、市場性にはほとんど焦点を合わせることなく、現実的な制約にだけ従って設計されたものだ。これはまるで、「もし買う人がいるなら、どんな人が買うのか見てみよう」と、IBM 自身さえもが半信半疑の好奇心で、店頭にこのマシンを置いたようなものである。

しかし、IBM 自身を含め誰もが驚いたことには、一般の人々も、中小企業も、大企業も、こぞって PC を買った。PC の売れ行きは、IBM の生産が間にあわないほどであった。

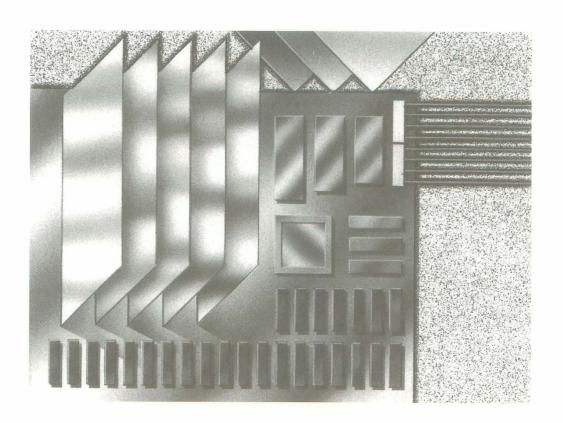
PCは一大改革を引き起こし、相次いで生まれる、より高性能なモデルの基礎となった。その論理的、かつ実用に即した設計は、この新しい業界の標準としての地位を確立した。たった1人ではんだづけして組み立てるガレージ工場から、数十億ドルを売り上げる巨大企業まで、数十社にもおよぶメーカーが、IBMのオリジナルマシンであるPCに、可能な限りの互換性を持たせながら、独自のマシンを生み出していった。

そして、これらのマシンは人々の働く方法を変え、さらに人々の考える方法さえも変えたのである。

THE RESERVE THE RESERVE TO THE RESERVE THE

第2章

マザーボード



ほとんどのパーソナルコンピュータの中心に置かれているマザーボードは、伝統的に、システム全体の物理的かつ論理的中枢である。マザーボード上に置かれた回路によって、それぞれのコンピュータの特徴、すなわち、性能、限界、独自性が決まるのだ。

ほとんどすべての PC と、その互換機に共通するひとつの特徴は、これらのマシンは、基本パーツとして、1 枚の大きなプリント基板 (PCB) からできているということである。この1 枚の大きなボードの上に、マイクロプロセッサ、周辺回路、メモリといった、システムの特徴を決定する上で欠かせない部品のほとんどが載っている。そして、これらの部品のほかにも、システムの性能を向上させたり、特別な用途に合わせてシステムを拡張する補助装置が、このボードに接続される。このボードがなかったら、コンピュータはこの世に存在しなかったのだ。しかし、それほど重要な意味を持つこの設計は、かならずしも必然的に生まれたものではなく、むしろその起源は、IBM が最初のパーソナルコンピュータを構想する段階で、この設計法を選んだという事実にある。機能を1枚のボードに集めるというアイディアを考え出したのは、IBM ではない。IBM は、小型コンピュータ業界にすでに存在した設計法の傾向に従ったまでなのだ。

2.1 小型コンピュータの設計

PC の開発が行われていた当時、小型コンピュータ設計の基本的な方法については、2 つの相反する方式があった。ひとつは、コンピュータの重要な部品をすべて1枚の大きなボードに載せて PC 本体に組み込むという、シングルボードコンピュータである。これに対し、より柔軟性があると考えられていたもうひとつの設計は、マイクロプロセッサ、メモリ、入出力回路といった機能別の各構成要素を、別々のボードに載せ、その各ボードを、回路バスによって連結されたコネクタに差し込むという方法である。このようなマシンはバス型コンピュータと呼ばれている。これら 2 つの設計法はそれぞれ独自の長所を持っている。

バス型コンピュータ

PC が開発された当時、バス型の設計は保守的な手法であった。 "バス"という呼び名は、乗り物のバスのように、複数の信号を乗客にたとえ、すべての信号 (乗客) が一緒に運ばれ、経路に沿って同じコネクタ (停留所) に止まる、という仕組みから付けられたものである。当時、最も普及していた小型ビジネスコンピュータでは、S-100 という名称は、100 個の接点を持っていることを表わしている。

また、大型コンピュータでも、ほとんどバス型の設計が採用されていた。これはつまり、このバス型設計の手法を用いれば、特別な目的や業務内容に応じて、1台1台のコンピュータを、顧客の仕様に合わせることができ、必要ならば、より高性能のプロセッサに交換したり、複数個のプロセッサをマシンに追加できるという長所があるからである。このモジュール化された設計法によれば、ビジネスニーズの拡大に合わせてシステムを拡張していくことも可能である。また、どのボードも壊れたらすぐに取り外して交換でき、その場合、回路レベルの処置は必要ないという点で、保守サービスを簡略化できるわけだ。

ただし、このバス型の設計は、実際のところは、

コンピュータを作るのに必要な部品が、1枚の回路ボードに収まりきらなかったために、必要に迫られて考え出されたというのが事実である。溢れ出てしまった回路は、複数のボードに分割せざるをえず、バスはそれらを連結するのに最も簡単な方法だったのである。

シングルボードコンピュータ

IC (Integrated Circuit:集積回路)の登場によって、複数の電子回路部品のほとんどは、指の爪ほどの大きさしかない1個のパッケージに詰め込まれ、コンピュータを構成するボードの数は大幅に削減された。そして、1970年代の終わりには、デジタルコンピュータ全体を1枚にした回路ボードが、初めて実用化された。このような形態のコンピュータは、多くの点でとても望ましいものだった。

第1の理由はコストである。ボードの数が少なくなるということは、それだけ組み立て費用や材料費が安くなるということを意味している。また、これによって単純にボードが小さくなるだけでなく、バスに各ボードを接続させるために必要だった回路も、削除できることになる。

シングルボードコンピュータは、信頼性の点でも有効である。コネクタは、どのコンピュータにおいても最も壊れやすい部品であり、シングルボードの設計法によって、システムトラブルの潜在的な原因であるバスコネクタが削減できるからである。

しかしその一方で、シングルボードコンピュータの設計は、バス型の手法と比べれば、融通性に欠けることは確かだ。シングルボードの設計法では、工場ではんだ付けされた時点でそのコンピュータの機能は確定され、あとから能力を向上させたり、最初の仕様にない機能を追加したりすることはできない。シングルボードの場合、テクノロジーの発達に合わせてコンピュータを改良していくことは望めないのである。この欠点のため、シングルボードの手法は、デスクトップコンピュータには歓迎されていないが、多くのラップトップコン

ピュータやノートブックコンピュータにとっては、 有効な設計手法である。シングルボードの手法に よって可能となる小型化は、省スペース性と軽量 化を重視するラップトップの設計の要求に完全に かなっている。この場合、拡張性がないことは大 きな障害ではない。実際、ラップトップの設計で は、拡張の余地をほとんど残さずに(完全に拡張 不可の場合もある)、小さなケースに、可能な限り の機能を押し込む方向で努力がなされている。

PC の妥協点

シングルボードかバス型の、どちらか一方の設計法に忠実に従うことよりも、IBM が選んだのはその中間の立場で、両者の最も良い部分を結合させることだった。そして、実際 PC では、1 枚の大きなボードに、コンピュータに不可欠な回路を集めると同時に、拡張性と融通性を持たせるために、スロットが使えるように設計されたのである。

PCの歴史は、よりシングルボードコンピュータに近付こうとする方向に流れていた。IBMは、新しいモデルを発表するたびに、中央の回路ボードに組み入れる機能の数を増やしていった。実際に、最初のIBM PCで、完全なシングルボードコンピュータとして欠けていた要素はただひとつ、ディスプレイシステムだけだった。マスストレージはカセットポートの形で搭載されていた(これは、自動車の動力源として、ゴムバンドを搭載するのに等しい行為だが)。しかし最近では、ディスプレイシステムと最新のマスストレージを、メイン回路ボード上に移動させている製品もある。

この背景には、少なくとも3つの誘因が存在する。まず、パーソナルコンピュータに要求される基本的な必要条件が多くなり、従来は追加機能として提供されていた機能も、今や、すべてのコンピュータが当然装備すべきものと考えられている点である。次に、パーソナルコンピュータに要求される基本機能を、すべてメイン回路ボードに載せてしまえば、システムの全費用を下げられるという点が挙げられる(シングルボードコンピュータが、同等のバス型マシンより製造費用が安い理由はこれである)。さらに、小型化技術の発展に伴い、この設計が実用レベルで実現できるようになっ

たということである。メイン回路ボードに、より多くの機能を詰め込むことが可能になったおかげで、最初の PC のメイン回路ボードには、機能を追加する余地は 1 平方インチもなかったのに、今日では、10 倍も性能の高いコンピュータでさえ、PC の半分の大きさのボードに、広範な種類の標準機能を持たせることができるのである。

しかし、最近の趨勢はこれとは反対の方向に向 かっている。現在、システムの設計者は、マイク ロプロセッサのような必須の機能をメインボード から外して、コンピュータをアップグレードでき るようにしている。この、より進んだモジュール 設計法によって、製造メーカー(および販売店)は、 より柔軟に対応できるようになる。たとえば、次 の新モデルを発表するまでの時間が短縮でき(サ ポート回路の再設計が必要なくなるため)、在庫品 を最小限に抑えることができる。製造メーカーと 販売店は、何種類ものモデルを在庫品に持つ代わ りに、1種類のケースだけ在庫しておき、要求に合 わせて、適当なマイクロプロセッサをそのケース に組み込んで売ればよいのだ。こういったモジュ ラーシステムは、アップグレードの可能性も約束 しているのだ。ただし、アップグレードは、理論 上は魅力的なコンセプトであるが、実際的である ことは少ない(つまり、アップグレードが、コスト の点で効果的な戦略であることはまずないという ことだ)。

バス型設計の柔軟性は、スロットに差し込むボードを、ユーザーが広範な種類の中から選択できるように考慮した結果である。ユーザーが使用できるボードが、たった1種類しかないようなスロットでは、単にボードが抜き差しできるというだけで、結局1回の組み立てで、すべての回路を装備してしまうのと変わらないのだ。したがって、バス型のコンピュータが受け入れられるためには、バス設計について、標準仕様が採用されなければならない。独自のバス、つまり、1社しか専用のボードを作らないバス設計(多くの場合、その製造メーカーが、他社に自社のバスの技術的な仕様の開示を拒むことによって生じる)には、規格化されたバスの持つ完全な適応性はなく、実際、シングルボード設計に優る有効な点はほとんどない。

2.2 回路ボードの様々な名称

PC の構成の基礎になっている大きなボードについて、十分な知識を持った人々(あるいは自分でそう思っている人々)が何かを話すとき、そのボードが様々な名前で呼ばれているのを読者は耳にしているだろう。 "マザーボード"、 "システムボード"、 "プレイナーボード"、 "バックプレーン"。これらはあたかもすべて同じものであるかのように口にされている。しかし、これらの用語は、普通の会話の中では互いに取り替えて使うこともできるが、基本的な概念には微妙な違いがある。

マザーボードとドーターボード

1991年の湾岸戦争を、サダム・フセインは
"Mother of All Battles"と宣言したが、このずっ
と以前から、あらゆるパーソナルコンピュータに
組み込まれている一番大きな回路部品は、日常会
話の中で、マザーボード (motherboard) という名
称で呼ばれている。ある意味では、この回路部品は
"mother of all board"であるといえるが、マザーボードには、フセインが"mother"という言
葉によって示そうとした、"今後発生するすべての
戦闘のさきがけとなるもの"といった大層な意味
はなく、大きいボードの持つ機能と、それに接続
されるドーターボード (daughterboard) と呼ばれる、小さなボードとの関係を表わしたものである。

これらの用語からすぐに頭に浮かんでくるイメージを、2つのボードに重ねると奇妙なものになってしまう。小さなボードと大きなボードが接続されている様子について、母親の乳に子供が吸い付いている、古い彫刻のようなものを想像してしまう人もいるかもしれないが、マザーボードとドーターボードという用語については、2つのボードの間に重要な関係があるという意味を含んでいるのだと考えるべきである。また、卓上ラジオにまで性別(女性)を付けるスペイン人のように、この用語に性別の意味が含まれていると考えてはいけない(性別と言語の性は完全に異なる概念であり、これに疑問を持つ人は、高校で、保健体育の肝心

な授業を1時間欠席したに違いない)。ドーター ボードという用語から、"サンボード" (sonboard) とか、もっと総称的な"オフスプリングボード" (offspringboard) などの代わりの名称にはない、 蜜のように甘い響きを感じ取ってはけないのであ る。また、マザーボードとドーターボードには、大 きさの関係もない。ちょうど、子供が成長して母親 より背が高くなるのと同じように、マザーボード よりも、接続するドーターボードのほうが大きい こともある。実際のところ、マザーボードを定義 している特徴は、その大きさや、ボードが回路部 品を搭載しているという点ではなく、このボード が、システムの拡張用に接続機能を提供している ということである。マザーボードに不可欠な要素 は、動作回路よりもコネクタのほうである。パー ソナルコンピュータは、今も昔も、マザーボード に電気的に接続された拡張コネクタがあれば、そ れ以外の部品なしで構築することができるのだ。

システムボード

IBMは、初代IBM PCからその後続機種である XTと ATまで、パーソナルコンピュータを構成する主要な回路が載ったこのボードに対して、システムボード (system board) という独自の名称を用いた。このボード(もっと正確にいえばボード上の回路) によって、コンピュータシステムの全体の特徴が定められることを考えれば、この名称は適切であると思われる。さらに、この名称を採用した理由には、性別の意味合いを持たない名称を使おうという IBM の意図もあった。IBM は、性別に関する争いに巻き込まれて、一方の味方をするような立場になることは避けたかったということだ。

拡張ボード

システムボードという名称に合わせて、ドーターボードの代わりに用いられた中性名詞が拡張ボード (expansion board) である。このボードをシス

テムボードに差し込むことで、システム機能の拡張が行われるという意味では、この名称も適当と思われる。ただし、拡張ではなく、マシンを動作させる基本要素として、拡張ボードの接続を必要とするコンピュータも多く、さらには、拡張できないコンピュータでも、モニタを接続するために、マザーボード以外にもう1枚ボードが必要なこともある。厳密にはこういう例外があるとはいえ、"拡張ボード"という名称は一般に受け入れられ、これに合わせて、システムボード上にある、拡張ボードを差し込むコネクタは、拡張スロット (expansion slot) と呼ばれることになった。

プレイナーボード

IBMは、マザーボードに対して、さらにもう ひとつの中性名詞の使用を促進した。「Personal System/2」(PS/2) 系のマシンを発表していく 中で、初めて一般的な用語になったこの名称が、 プレイナーボード (planar board) である。IBM のエンジニアは、会話の中では、これを形容詞部 分のみに簡単に省略して、"プレイナー"と呼ぶこ とも多い。"マザーボード"の代わりに作られたほ とんどの中性名詞と同じで、このプレイナーボー ドも、もとの名前に比べると表わすものが漠然と している。名前があまりにも包括的になりすぎて、 その示すものが漠然としてしまうのも考えものだ。 カメラの内部に使われている、折り曲げ可能なプ リント基板のように、特殊な目的で屈伸自在に作 られている少数のものを除けば、プリント基板は おしなべて"プレイナー"、つまり平らなのである。 これに比べれば "システムボード" のほうが、少な くとも回路部品としての機能が表わされていると いう点で、明確な名称だろう。

ロジックボード

曖昧で中性的な名称は、IBM に限ったことではない。Apple の「Machintosh」の世界では、コン

ピュータ内部の主要な回路ボードのことをロジックボード (logic board) と呼んでいる。コンピュータ内部のすべての回路ボードのベースが、デジタルロジック回路であることはいうまでもなく、したがってこの名称も、特定の対象を表わす明確さには乏しいといえる。

バックプレーン

ほかに、パーソナルコンピュータのマザーボードを指す言葉としてときどき使用されるものに、バックプレーン (backplane) がある。これは、バス型コンピュータから持ち込まれた名前である。初期のバス型設計では、マシンの拡張コネクタは、すべて1枚の回路ボードで連結されるようになっており、拡張ボードは、コンピュータのフロントパネルの隙間から、後部にあるマザーボード上の拡張コネクタへ差し込まれる。必然的にボードは平らで (plane)、コンピュータの後部 (back) にあり、この点では、"バックプレーン"という名称は、見事にボードの状態を表わしている。ただし、その後の設計では、パックプレーンはコンピュータケースの底部に置かれるようになった。

PCの設計に見られるように、ボード上に動作するロジック回路がある場合は、バックプレーンはアクティブバックプレーンと呼ばれる。したがって、パッシブバックプレーンといえば、ワイヤもしくはプリント回路で連結された、拡張コネクタのことを指す。パーソナルコンピュータのシステムボードのほとんどは、アクティブバックプレーンと呼ぶことができるが、エンジニアの多くは、バックプレーン自体よりもむしろ、バックプレーンにマイクロプロセッサが差し込まれているタイプのバス型コンピュータに対して、この名称を使っている。この定義でいえば、アクティブバックプレーンの動作回路には、ボード間の通信を可能にするバス制御回路も含まれるだろう。

2.3 マザーボードの構成要素

IBM 設計に従ったコンピュータのマザーボードは、いくつかの主要な機能を持っている。最も基本的なレベルでは、「コンピュータの物理的な基礎」という役割である。マザーボードは、適切な位置に拡張ボードを固定し、また、外部の回路要素との接続を行う一定の場所を提供し、コンピュータの中心となる電子回路部をサポートするベースとなっている。電気的には、マザーボード上にエッチングされた回路には、コンピュータの頭脳と、その頭脳を拡張するのに必要な最も重要な諸要素が含まれている。この回路によって、コンピュータの全体の基本的な性質、つまりどのように機能するか、キー入力に対してどのように反応するか、そして何をするか、ということが決まる。

システムボードの各要素は、それだけでコン ピュータの基本性質を決定するということはない。 コンピュータの本質は、回路の配線と部品とに関 わっているのである。

マイクロプロセッサ

マイクロプロセッサは、コンピュータ内部で実際の思考を行っている。現在使用できる数多くのマイクロプロセッサの中から、どれを選択するかによって、コンピュータの処理能力だけでなく、使用可能なソフトウェア言語の種類(つまり、そのコンピュータで、どんなプログラムを使えるかということ)も決まる。

コプロセッサ

マイクロプロセッサの補助部品であるコプロセッサによって、コンピュータはある特定の操作の実行速度を高めることが可能になる。処理によっては、5~10 倍の高速化が可能である。

メモリ

メモリは、マイクロプロセッサが計算を実行する際に必須の要素である。システムのメモリ容量やその構成によって、どのようにプログラムできるか、またどの程度複雑なレベルのプログラムが実行できるかが決まる。

BIOS

コンピュータの BIOS (Basic Input/Output System) は、恒久的に記録されたプログラムルーチン群であり、システムの基本的な操作上の特色は、これによって決まる。また、この BIOS によって、ディスクからプログラムをロードせずにコンピュータが実行できる動作と、ディスクベースのプログラムの一部である、特定の指令に対するコンピュータの反応の方法が定められている。

拡張スロット

拡張スロットは、新たな信号をコンピュータに取り込み、それに対する応答を行う電子回路をもつ出入り口で、システムに新たな機能を追加したり、機能を強化することができる。また、ビデオアダプタのようなコンピュータに初めから不可欠な部品を、すばやく簡単に交換できる。

周辺回路

マイクロプロセッサは、コンピュータの基本要素であっても、コンピュータそのものではない(もしそうなら、「マイクロプロセッサ」を「コンピュータ」と呼んでもいいはずだ)。マイクロプロセッサには、生命を吹き込む特別な回路、すなわち、クロック、コントローラ、信号変換器が必要である。これら周辺回路は、プログラムに対して独自に応答しており、この周辺回路の助けで、コンピュータの動作が決定されている。

2.4 プリント基板技術

マザーボードの"ボード"とは、プリント回路 基板 (printed-circuit board) から取ったものであ る。プリント回路基板という名称は、短縮して PC ボードと呼ばれることもあり、そのボードが、コ ンピュータ以外の製品のデバイスの場合でも、同 じ言葉が使われるので、混乱するかもしれない。 今日、プリント回路基板は、ほとんどすべての電 子デバイスを構成している、標準部品になってい る。かつては点と点を手作業で配線する方法が行 われていた。文字どおりの"電線"が回路部品をつ なぎ、電線の両端は、それぞれ適当な場所に、手 作業ではんだ付けされていたのである (単純な回 路でも数インチ四方の面積を要した真空管時代の 技術だが、コストの面さえ気にしなければ、現在 でも有用な技術である)。

パーソナルコンピュータが、5,000 個の真空管に相当する回路を、数インチ四方のスペースに詰め込んでいる現在では、手作業による配線など、想像もつかない。旧式の配線方法でこれらを接続するとしたら、慎重な手作業と、極細の電線が必要になろう。電線をいちいち切断し、被覆を剝がし、はんだ付けするには、多大な時間が必要となり、1台のPCの製造は、一生がかりの仕事になってしまうだろう。

プリント回路によって、工程は完全に機械化され、全回路の組み立てが迅速に行われるようになった。電線自身は、プリント回路基板の構造上のベースとなる基材に張り付けられる銅箔のパターンに変わった。コンピュータでは通常この基材は、ファイバーグラスの布にエポキシ樹脂を浸透させて補強した、ガラスエポキシと呼ばれる緑色の複合素材である。簡単な電子デバイス(安価なもの)では、ガラスエポキシの代わりにフェノール樹脂という単純な褐色の基材を使用するものもある。

最も単純な回路ボードの第一段階は、基材に接着された1枚の薄い銅箔である。この銅箔は、"フォトレジスト"と呼ばれる感光性の化合物("フォト"という言葉はここからきている)で表面を覆われ

ている。フォトレジストは感光すると、銅に強く 反応する硝酸のような物質に耐性を持つように変 化する("レジスト"はここからきている)。最終的 な回路パターンのネガ(反転画像)を、銅箔を覆う フォトレジストの上に置いて強い光源で感光し、 そのボードをエッチング液に浸す。ここで、感光 したフォトレジストに保護されていない銅箔は、 エッチング(腐食)され、基板上から取り除かれる。 この結果、基材上には、回路パターンの写真のオ リジナルに相当する銅のパターンが残り、こうし てできた銅線は、完成された回路を構成する様々 な電子部品の接続に使用される。

プリント回路基板に部品を接着する方法としては、2つの技術が広く利用されている。旧式の方法はピンインホールと呼ばれる技術で、回路ボードの部品搭載部分に穴を開けて固定するというものである。各リード(部品から出ているワイヤ部)は、回路ボードのこの穴を通して裏側ではんだ付けされ、余ったリードはカットされる。

大量生産に使用されている方法は、あらかじめ 部品のリードをカットしておき、"ウェーブソルダリング"という方法を使って、すべてのリードを同時にボードへはんだ付けするという技術である。ウェーブソルダリングは、表面が一様に波立っている、溶解したはんだの池の表面すれすれのところを、ボードを通過させるもので、この波によってボードとはんだがわずかに接触し、トレースにリードがはんだ付けされる。

人間の手作業でも自動部品装着機でも、ピンインホールの方法を利用できる。自動装置を使えば人件費が削減でき、長い時間作業を行っても製造スピードは変わらない。一方、手作業は、一般的にプロトタイプの製造や、小規模生産の場面で行われる。また、自動装置を導入する余裕も、この作業を下請けに出す余裕もない小規模の会社にとっては、手作業による組み立てが、唯一の手段であることも往々にしてある。

もうひとつの表面実装技術は、ピンインホール

技術に比べて、製品の大幅な小型化とコストの削減を約束するものである。部品を固定する穴の代わりに、表面実装用に作られている部品が、はんだクリームによって、回路ボード上の適切な位置

に仮留めされる。全部品が回路ボードに接着されたあと、温度制御されたオーブンの中をボードを通すことによって、はんだクリームが溶け、各部品がボードにしっかりはんだ付けされる。

2.5 システムボードメーカー

マザーボードによって、個々のコンピュータの基本的な性質、すなわち、機能や性能が決まるため、種類の異なるコンピュータには、異なるマザーボードが組み込まれていると思う人がいてもしかたがない。しかし、これは正確には間違いである。多くの異なるコンピュータが、内部に同じ設計のマザーボードを搭載している場合があり、また逆に、同じモデルのコンピュータでも、製造された時期が違えば(そしてどのマザーボードをメーカーが最も大量に入手したかによって)、数種類の異なるマザーボードを搭載している場合もあるのだ。

OEM

コンピュータとマザーボードのこのような関係 は、奇妙に思われるかもしれないが、これはコン ピュータの製造期間に対して、販売される期間が 長いからである。ブランドネームと製造元の関係 は、接着剤で張り付けられたネームプレートほど 緊密なものでないことも多い。ブランドネームは、 卸し売り、もしくは小売りレベルで製品を販売す る会社に属するものだ。販社は、自社で製造を行 うことはもちろん、その会社向けに製造を行う別 の会社を使う(製造契約を結んだり、下請けに出 す)こともできるし、あるいは単純に、他社が製 造した部品や完成品を買うこともできる。この3 番目の方法を採用して、販売会社に商品を供給し ている会社(その会社自身が販社であることも多 い) のことを、OEM (Original Equipment Manu facturers: 相手先ブランド製造業者) という。この 用語は濫用され、一般化される中で、ほとんど厳 格な意味は薄れつつあり、現在では動詞として使 われることもある。たとえば、供給側のメーカー

が販社へ「OEM する」とか、販社がメーカーから「OEM される」といった具合である。

OEM の関係は、その用語と同様に一定したも のではなく、人を混乱させることもしばしばであ る。OEM を行うメーカーが、自社のブランド名 で製品を販売する場合もあるし、OEMされる販 社が、OEM 供給された製品以外にも製品を造る こともあるだろう。ときには、供給する側が入れ 代わることさえもあるのだ。たとえば、DECは、 最初のパーソナルコンピュータを、Tandy からの OEM 供給で調達していたが、その後、自社製品 のいくつかを自分で製造し始めた。そしてこのと き、外観からは、製造元が変わったことは分から なかった。この方法は、販社、つまり、ブランド ネームが、製品の売れ行きに大きな影響力を持っ ていることを如実に表わしている。ユーザーは、 ブランドネームに付随する保証を当てにしている のだ(製造元に送り返して、交換しているだけの 販社もあるが)。

インテグレータとVAR

メーカーと販社の関係が希薄なこともある。販 社の中には、他社が製造した完成品に、ネームプレートを張り付けるだけの時間と労力しか費やさないところもある。その一方で、自らの手で半製品を、より高性能の製品に組み立てて、ソフトウェアを製品にインストールし、徹底的なテストを行っているところもある。後者の場合、別々の供給元から部品を集めて完成品を組み立てているところから、しばしばシステムインテグレータと呼ばれる。また彼らの中には、オリジナル製品を持ち、それに"バーティカルソフトウェアパッケージ"(特定産 業用に設計されたソフトウェア)を付属させて販売するといったように、コンピュータにさらなる機能や性能を付加して販売するところもある。このような会社は、VAR (value-added remaketers、value-added retailers:付加価値再販業者)と呼ばれることもある。

OEM 製品と、自社完全生産の製品の違いは、 OEM の場合は、異なるブランド名の付いた多く のコンピュータの内部に、同じシステムボードが 使われている場合が多いという点だ。OEM製品の多くは、ケースやラベル以外に違う点は見つけられないだろう。このようなコンピュータは、基本的に内部を交換して使用することができるため、エコノミスト達は"コモディティ"(日用品)と呼んでいる。すべての日用品がそうであるように、このような、中身は同じですぐ入手できるコンピュータ群の中で、最も"優れている"といえる製品は、もっとも価格の安いものということになる。

2.6 マザーボードの外観

かならずしも、すべてのマザーボードが交換して使用できるというわけではないが、中には、同一の外形を持っていて、同じスペースにはめ込むことができるものがある。このため、マザーボードの規定サイズに従って製品を設計するコンピュータメーカーは、組み込むマザーボードを、複数の製品から選択することができる。マザーボードの外形寸法については、2つの標準がある。これらの標準はいずれも、IBM がパーソナルコンピュータのオリジナル設計で設定した寸法に従ったものである。

標準サイズ

最初の IBM PC のマザーボードの外寸は、約8.5×11 インチで、ボードの左後方に5個の拡張スロットが1インチ間隔で並んでいた(図2-1参照)。この中では、拡張スロットの位置だけが標準として残った。

現在、ボードの標準サイズとして、ほとんどのマザーボードメーカーに受け入れられているのは、IBM XT のオリジナル設計である。XT のマザーボードのサイズは、8.5×12 インチで、0.8 インチ間隔で8個の拡張スロットが装備されていた(図2-2 参照)。マザーボードは、このサイズのものが最も多く製造されている。

オリジナルの IBM PC を持っていて、最新のマ

ザーボードにアップグレードしたい人にとっては、拡張スロットの間隔の違い以上に大きな障害がある。PCとXTのシステムボードの大きさは、ほとんど同じだが、はめ込み穴の位置が違うのである。両者の位置の違いは、わずか1インチだが、実際この差は大きく、PCのケースに入っていたオリジナルのマザーボードを、XTサイズのボードに交換することはかなり難しい。

さらに AT では、以前より多くの回路を入れるために、基板の面積が必要になったため、ボードのサイズが 12×13.75 インチに広げられた。回路用により多くのスペースが必要なマザーボード (ATの第1世代の製品が典型的) は、ATのサイズを採用している。XTのレイアウトと同様に、ATのマザーボードの設計でも、0.8 インチ間隔で8個の拡張スロットが装備されている(図 2-3)。

AT標準に代わるマザーボードは現われなかった。IBMの次のモデルであるPS/2シリーズは、新たな標準を定着させることに失敗したからだ。これは、自社の拡張バスに、マイクロチャネルアーキテクチャを進んで採用しようとする会社がほとんどなかったことと、さらに、PS/2系の製品では、ときには同一モデルの中でさえも、異なるサイズのマザーボードが使用されたという理由のためだ。

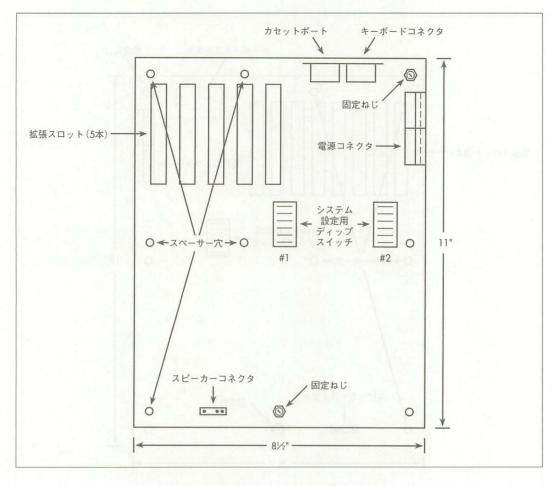


図 2-1 PC のシステムボードとねじ位置

主要な互換機メーカー(Compaq、Epson、Leading Edge、Tandy など)は、システムボードとケースの両方の製造を、自社(または関連会社)で行っているので、必要なサイズに自由に変更することができる。実際、Compaq独自のポータブルマザーボードは、PCよりもいくぶん大きいという例もある。

省スペース PC (small-footprint PC) は、机上の占有スペースが小さくなるように設計されたマシンで、通常、IBM の標準サイズとは、かなり異なる大きさのマザーボードを使用している。マザーボードの大きさを縮小すると、マシン全体の大きさを数インチ縮めることができるからだ。省スペース PC が、標準サイズであることの融通性

を犠牲にして、コンパクトであることの有効性を 強調している点は、ラップトップマシンとまった く同様である。さらに、よりコンパクトにするた めに、拡張スロットとドライブベイの数を減らし、 拡張性の点でもある程度の妥協をしている。省ス ペース設計は、拡張性を失うと同時に、メーカー と購入者を緊密に結び付けることにもなった。な ぜなら、マザーボードが標準サイズでないため、 故障したりアップグレードしたい場合は、購入者 はそのシステムの製造元に頼らざるをえないから だ。これに対し、標準サイズのマザーボードであ れば、PCを交換したりアップグレードする際に、 あとで発売された様々なマザーボードを自由に選 択できる。

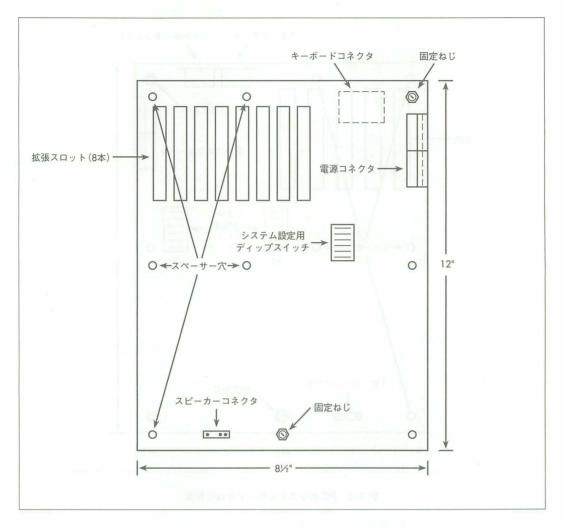


図 2-2 XT のシステムボードとねじ位置

ハードウェアの実装

いずれにしても、マザーボードはキャビネットに取り付けて使用しなければならないため、PCメーカーはマザーボードの取り付け方法をいくつか考え出した。マザーボードの取り付けは、簡単そうに見えて思った以上に複雑である。マザーボードを水平にねじ留めするのは、なかなか容易なことではない。ピンインホール部品の足が、様々な長さでボードから突き出ているため、底は平らでは

なく、無理にボードを固定しようとすると、ボードに不適当な力がかかり、場合によっては、内層の 回路の配線を切断してしまうことになる。その上、 ほとんどのケースは金属製なので、底のパネルに 直にボードを置くと、ちょっとした拍子で、危険 な回路ショートが発生することがよくある。この ため、マザーボードは安全確実に固定するだけで なく、ケースの底からは適当に(通常は 1~2cm) 離れるように設置する必要がある。

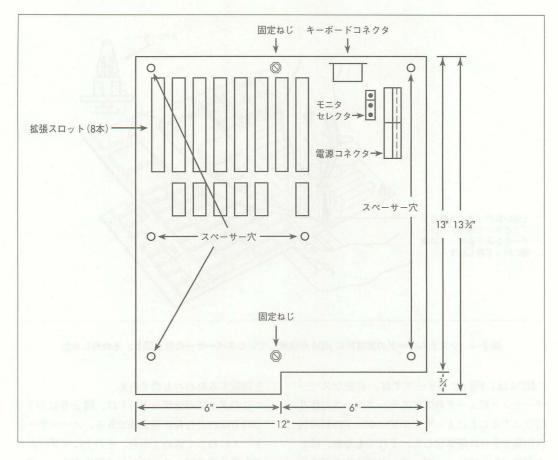


図 2-3 AT のシステムボードとねじ位置

IBM はこの実装上の問題を、最初の PC では巧妙に解決している。 PC はもちろん、 PS/2 が投入されるまでの、IBM の全製品ラインのマザーボードでは、ねじと特殊なスペーサーを組み合わせて使用して、迅速で簡単な製造 (およびボード交換) が可能になっている (図 2-4 参照)。この設計は驚くほど簡単なもので、ねじはたった 2 個 (3 個の場合もある) しか使用しない。マザーボードの穴には、ケースの底の金属枠から、ボードを絶縁しつつ固定する、ナイロン製の留め具をはめ込む。この留め具の先端は、矢の先のような形をしており、ボードの穴に差し込むと、ボードの裏側で出っ張りの部分が引っ掛かかり、うまく固定されるようになっている。留め具の下の部分は、PCケースの底の専用の溝にはめ込む。機構的には、

ボードを固定する2個ないし3個のねじとナイロンの留め具は、底から一定の間隔をあけてボードが水平になる高さで、かつ、ケースの金属枠の専用溝に合うような位置に設計されている。

IBM の設計では、ねじを外すと、ボードを左へスライドさせることができ、溝から留め具が外れるようになっている。マザーボードを装着する場合は、まず留め具が溝にはまるようにボードを押し下げ、続いてボードとケースのねじ穴の位置が合うまで、右にスライドさせるだけでよい。ねじの数が最小限に抑えられているため、コンピュータの組み立てに必要な作業は、この程度で終わりである。これは数百台、数千台といったマシンを製造しようとする際には、とても重要なことである。

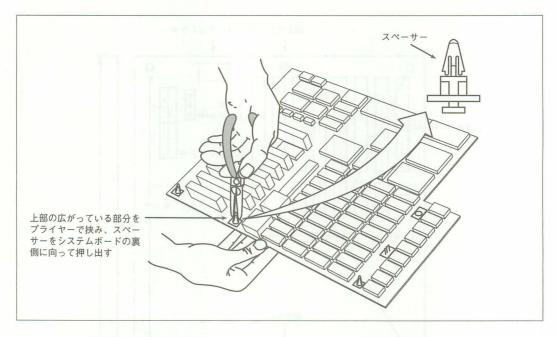


図 2-4 システムボードの実装用に IBM が使用しているスペーサーの拡大図と、その外しかた

IBMは、PS/2シリーズでは、必要なスペーサーをコンピュータのプラスチックケースに作り付けにすることによって、マザーボードの組み込み作業をさらに簡素化した。それでもなお、ほとんどのマシンでは、マザーボード組み込み用のねじの数をさらに少なくとしよう努力している。

ほかのパーソナルコンピュータメーカーは、マザーボードの組み込み方法について独自の方法を考案した。これらの互換機メーカーは、ケースの底に数個の穴を開け、ねじ山のついた金属またはプラスチック製のスペーサー(普通はただのナイロン製の筒)を付属品に付けることで、留め具をはめ込む溝を溶接するコストを節約している。スペーサーは IBM 方式のナイロンの留め具と同じく、ケースの底から一定の高さにシステムボード

を固定するためのものである。

このタイプのマザーボードは、図 2-5 に示す 2 つの方法のどちらかで装着できる。スペーサーをケースにねじで留めてから、その上にマザーボードを載せてスペーサーにねじで留めるか、マザーボードをスペーサーにねじで固定してから、スペーサーをケースの底の穴に合わせてねじで留めるかのどちらかである。どちらにしても、一般に、安売りメーカーはケースの精度がよくないため、ユーザーが、10 個もの穴とねじを合わせなければならない点は、あまり良い方法とはいえない。しかし、妥協して解決するよりほかはない。スペーサーを緩めにマザーボードに取り付けておけば、スペーサーは少し動く余裕があるので、ケースの穴との位置合わせがうまくいく。

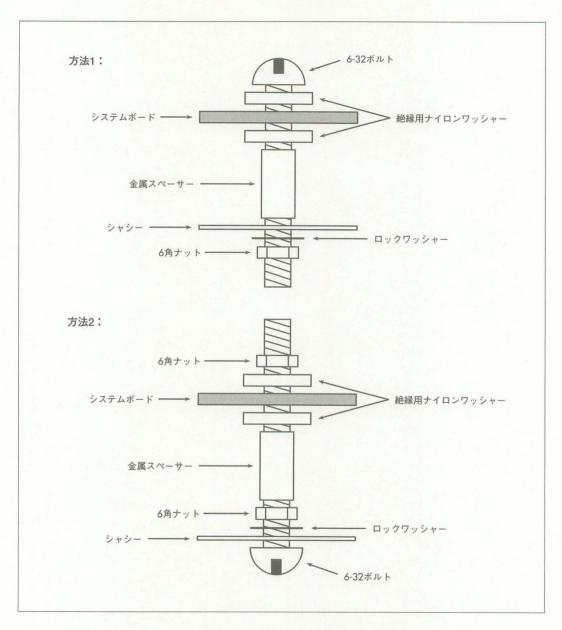
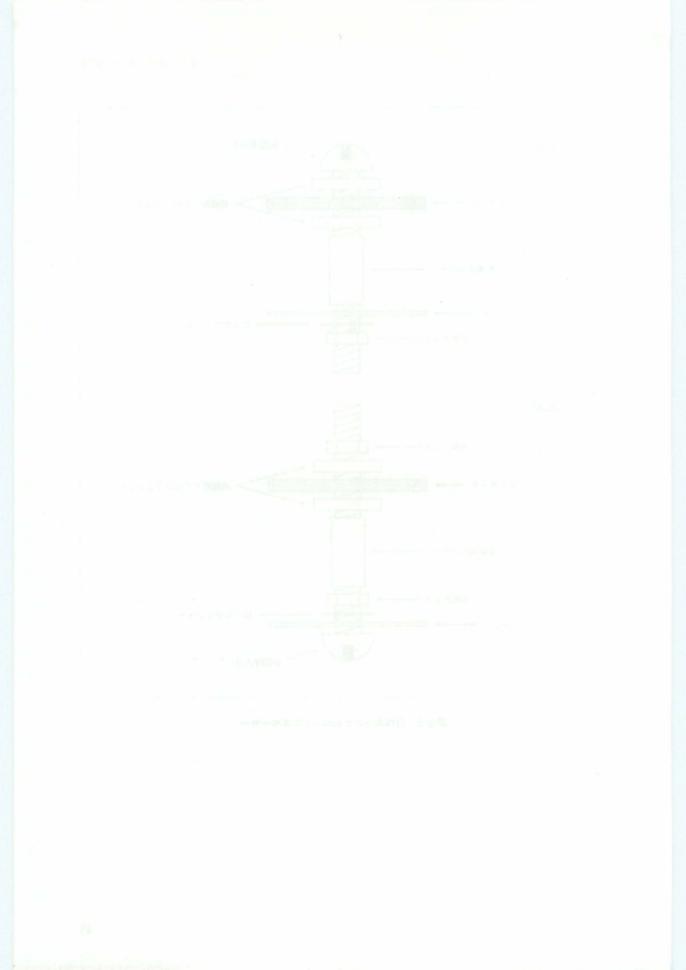
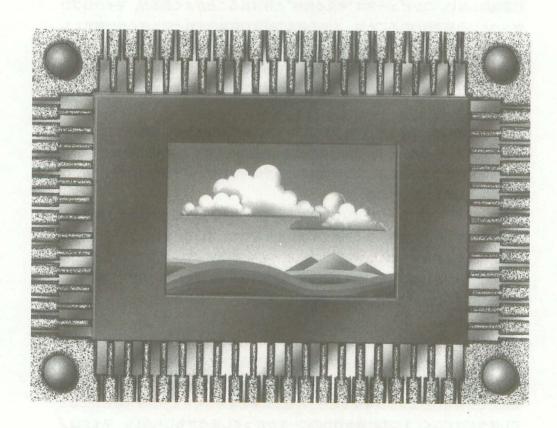


図 2-5 自作用システムボードのスペーサー



第3章

マイクロプロセッサ



マイクロプロセッサは、パーソナルコンピュータの心臓であり、脳である。この小さなシリコンチップが、コンピュータにおけるデータ処理のすべてとはいわないまでも、その大半を司っており、コンピュータ全体の動作速度および処理能力は、このチップによって決まる。パーソナルコンピュータや、今日増加の一途をたどる高性能なマシンはすべて、マイクロプロセッサと呼ばれる、ある特殊な電子回路をベースとしている。しばしば "チップ上のコンピュータ" とも呼ばれるが、今日のマイクロプロセッサは "ハイテク" という黒魔術の一大傑作である。マイクロプロセッサは、1枚のシリコンから作られる。このシリコンは、極度に純粋な結晶の大きな塊を、卓越した精密技術で薄くスライスしたもので、これを不純物の混ざった気体を含んだオーブンの中で高温にさらすと、気体がシリコンを "デヒューズ" し、その電気特性を変える (詳細は後述)。この砂を金に変える錬金術のようなプロセスを経て、節足動物の脳と同程度の能力を有する電子頭脳が創り出される。

昆虫や甲殻類と同様に、パーソナルコンピュータも反応し、学習し、記憶することができる。しかしながら、意識を持つ高度な生物とは異なり、マイクロプロセッサは推論したり自己認識はしない。コンピュータは"考える機械"と呼ばれることがよくあるが、マイクロプロセッサという脳で行われることは、人間の思考の過程や意識の流れとは大きくかけ離れたものである。あるいは、まったく違うといってもよいかもしれない。理論家の中には、人間の精神とコンピュータが、基本的には同じ仕組みで働いていると考える人もいる。しかし、彼らにしてもほかの誰にしても、人間の精神活動の実際の仕組みを正確に知っているわけではない。

一方、人間の脳とは違って、マイクロプロセッサの動作原理は十分に理解されている。マイクロプロセッサのハードウェアは、ある決まった機能を実行するように設計されており、その機能を実現するためにシリコン半導体の技術が使用された。マイクロプロセッサの動作には、魔法めいたからくりはない。

実際、マイクロプロセッサはシリコンでなければならないというわけではない。科学者たちは、さらなる高速化を実現する先進の半導体素材を模索している。また、エレクトロニクスを基礎にする必要すらない。ギア、カム、レバーあるいはパイプ、バルブ、パンといった一連の仕組みがあれば、今日の最先端のマイクロプロセッサと完全に同じ方法で、論理的な機能を実行することができる。事実、機械的な仕組みと水力で動作するコンピュータが作られたこともある。

エレクトロニクスとマイクロプロセッサの利点は、その速さと大きさにある。電気信号は 光の速度で伝わるため、マイクロプロセッサは最高数百万分の1秒の速さで命令を実行でき る。この速さがなければ、手の込んだプログラムが書かれることはなかっただろう。もし、蒸 気動力で計算を行うエンジンを使ったら、設備が倉庫を埋め尽くすような膨大なものになっ てしまうだけでなく、1つの計算を行うのに一生かかってしまうかもしれない。 マイクロプロセッサの高速性と、持ち運び可能な極小サイズによって、今日の奇跡は成し遂げられたのである。

また、シリコンには広く一般に使用されているという利点がある。今日ではシリコンで1つの産業が形成されている。テクノロジーは成熟しており、シリコン回路の製造は機械的な

作業になっており、製品の出来具合は事前に予測できる。実際、年間数十億個ものシリコンチップが製造されているが、このようにシリコンが広く普及することは、チップのコストダウンにもつながる。製造プロセスは、精密で特異なものだが、必要な設備や材料は容易に入手できる。

3.1 マイクロプロセッサの仕組み

シリコンをベースにした現代のマイクロプロセッサの働きを理解することは、基本的な原理に立ち返れば難しくはない。マイクロプロセッサの基本的な仕組みは、膝蓋腱反射(脚気の検査でよく知られている、膝を叩くとひとりでに足が反応する例の仕組み)のようなものである。"電子ハンマー"でマイクロプロセッサに一撃を加える、つまり、ある決まったデジタル信号の入力があるたびに、マイクロプロセッサはそれに反応して、ある特定の動作を行う。同じ入力に対しては、つね同じ機能を実行して反応する。マイクロプロセッサの動作が複雑なのは、反応できる入力の種類がたいへん多いということと、連続した入力が、互いに関係をもって作用するからである。

マイクロプロセッサの機能は、入力される信号によって正確に決まっているが、その出力結果は、マイクロプロセッサが、その前にどんな動作を行うように指示されていたかによって変わる。たとえば、「左足を上げろ」という命令を実行した場合の結果は、その前に与えられていた命令が「座れ」であったか「右足を上げろ」であったかによってまったく異なるのだ。

インストラクションセット

しかし、マイクロプロセッサを構成している単純なシリコン回路は、人間の言葉で表わされた命令(コマンド)を理解するわけではなく、電気信号に対して反応する。今日のマイクロプロセッサでは、各コマンドはチップのパッケージのピンに与えられる電気信号の有無でコード化される。信号のひとつひとつは、1か0にコード化できるデジタル式の情報ビットを表わしており、これらが組み合わされてビットパターンとなる。マイクロプロセッサの設計者は、ビットパターンに特定の意味を与えて設計し、これがマイクロプロセッサのインストラクション(命令)となるわけだ。たとえば、"0010110"というビットパターンは、Intelの8086系のマイクロプロセッサでは、引き算を指示

するインストラクションになっている。

マイクロプロセッサが理解し、反応できるコマンドの全レパートリーを、**インストラクションセッ**トまたはコマンドセットという。マイクロプロセッサの設計が異なれば、当然、認識するインストラクションセットも異なる。

インストラクションセットは、驚くほど豊富かつ多様である。たとえば、引き算を指示するコマンドは簡単だが、それだけでは用をなさない。つまり、何から何を引くのか、そしてその結果をどう処理するのかということも、マイクロプロセッサは知らなければならない。PCに搭載されているマイクロプロセッサでは、引き算インストラクションに約7種類(何を引き算とみなすかによって、この数は変わるが)のバリエーションがあり、それらの違いによって引く数を判断している。インストラクションの種類に応じて、マイクロプロセッサは異なる場所から値を取り出し、異なる方法でその差を導くように指示されるのである。マイクロプロセッサのレジスタは、これらの仕事の一端を担うものだ。

レジスタ

マイクロプロセッサは、数値やデータを処理する前に、どのデータを処理するのかを知っている必要がある。必要な変数をチップに与えるには、インストラクションと同時に、処理するデータを、コード化された信号として与える方法が、最も簡単なように思われる。しかし、この方法には欠点がある。適切なデータを、マイクロプロセッサの入力に、正しく割り振る必要があるが、この割り振りを行うには、マイクロプロセッサとコンピュータの回路を使うか、あるいは人間が代わりにこの役を負って、様々な入力先に適切なデータを、いちいち手動でロードするかのどちらかの操作が必要になる。このような仕事は、マイクロプロセッサに任せるのがいちばんよいが(延々と続く計算の中間結果の置き場所を、いちいち指示すること

などやっていられないだろう)、この信号の割り 振りの作業をすべて回路で行うとすると、マイク ロプロセッサにつながる外部回路はかなり複雑に なってしまう。

今日のマイクロプロセッサは、2つの入力を同時 に直接処理するかわりに、1回に1個の入力だけ を処理する仕組みになっている。入力されたビッ トパターンは、まずレジスタと呼ばれる特別な領 域にロードされる。レジスタは、一時的な記憶領 域と作業領域の2つの機能を持っている。レジス タは、ビットパターンが処理または出力されるま での間、それを保持する。また、レジスタは、マ イクロプロセッサ内の処理回路に接続されていて、 インストラクションによって指示された変更が、 実際にレジスタの内容に反映されるようになって いる。通常、マイクロプロセッサには複数のレジ スタがあるのが一般的で、そのうちのいくつかは 特定の機能(たとえば、現在チップがある機能の どのステップを実行中かを記憶することなど)の 専用レジスタで、残りは汎用に使用される。

マイクロプロセッサのインストラクションの中には、あとで別の処理を行うために、レジスタに数値を記憶させたり、レジスタから外部(メモリや出力ポートなど)にデータを転送するように指示するものがある。また、別のインストラクションには、実行に数ステップを要するものもある。たとえば、前述の引き算インストラクションの場合、マイクロプロセッサに対し、計算専用の特殊なレジスタであるアキュムレータに記憶された数値から、インストラクションで直接指示された数値(あるいはメモリに記憶されている数値)を引くように命令するのである。

実際、マイクロプロセッサが行うことはすべて、これらの一度に1ステップずつ実行されるインストラクションの連続にすぎない。2つの数の簡単な加減計算は、その数を10進数からマイクロプロセッサが理解する表記法である2進数(1と0)に変換する処理を含めて、おそらく数十個のステップで構成されているはずだ。コンピュータのプログラムが複雑なのは、人間にとっては1ステップの動作に思えるような、数を加える、1文字タイプする、1ブロックのグラフィックスを移動させ

るといった作業を、長く複雑に連続する小さなステップに細分して実行しなければならないからである。

マイクロコード

インストラクションは、マイクロプロセッサに、何をすべきかという命令を与えるための基本単位である。しかし、これに対して、マイクロプロセッサの回路は、1個のインストラクションを実行するのにも、内部的には複数のステップを踏まなければならない場合が多い。つまり、インストラクションはマイクロプロセッサに、1つの動作を実行させる場合、それを構成している複数ステップのリストを実行するように指示しているわけだ。各インストラクションに対応しているこれらステップのリストをまとめて、マイクロプロセッサのマイクロコードと呼んでいる。

マイクロコードを使えば、マイクロプロセッサの設計者は、チップに対して豊富な種類のインストラクションを、簡単に与えることができる。こうして作られたのが、たとえば PCのマイクロプロセッサが理解する、7種類の引き算コマンドである。これらのコマンドは、ひとつひとつが微妙に異なっており、その差異のおかげで、マイクロプロセッサに指示を与えるのが容易になっている。各動作に先立って実行しなければならないステップが少なくて済むのだ。

マイクロコードの基にある概念は、元々、ケンブリッジ大学の Maurice Wilkes によって考えられたもので、初期のメインフレームコンピュータのインストラクションのレパートリーを増加させることが、そもそもの目的だった。マイクロコードのおかげで、単純だが高速なコンピュータで、複雑なインストラクションを使用できるようになったのである。マイクロコードは、マイクロプロセッサ内部のナノプロセッサ(マイクロプロセッサの中のマイクロプロセッサ)上を走る、外部からは見えないインストラクションの二次セットといえる。

マイクロコードとナノプロセッサの組み合わせにより、複雑だったマイクロプロセッサの設計は簡単になった。つまり、マイクロプロセッサの高性能なデータ処理回路は、その回路が実行しなけ

ればならないインストラクションとは、無関係に 設計することができる。また、マイクロプロセッ サが複雑なインストラクションを処理する方法は、 その主要回路のアーキテクチャの設計が終わった あとでも、適切に調整することができるのである。 設計上のバグは、マイクロコードを変更すること で比較的早く取り除ける。バグを取るために、チッ プ全体にわたって新しい設計を開発する作業は、 チップに百万個のトランジスタが含まれる場合で は、大変な仕事である。これに比べれば、マイクロ コードの変更は簡単である。また、マイクロコー ドによって増加した豊富なインストラクションセッ トにより、マイクロプロセッサ(およびそのマイク ロプロセッサを使用したコンピュータ)のソフト ウェアの作成が簡単になり、各動作に必要なイン ストラクション数を削減することもできる。

しかし、マイクロコードには不都合な点がない わけではない。マイクロプロセッサ内部にナノプ ロセッサの層を作ることによって、オーバーヘッ ドが生じるのだ。ナノプロセッサは、マイクロプ ロセッサに送られたインストラクションを実行す るために、自分専用のマイクロコードインストラ クションを実行しなければならない。ステップが 多くなるということは、ひとつひとつのインスト ラクションを実行するのに要する時間が長くなり、 処理が遅くなることを意味する。とはいえ、マイ クロプロセッサ (およびナノプロセッサ) のインス トラクションの実行速度は、1秒あたり数百万個 にもなり、このような高速性によって、オーバー ヘッドを抱えた層構造の設計が可能になっただけ でなく、実用的な性能を持たせることもできるの である。

CISCERISC

マイクロプロセッサの設計に、マイクロコードが不可欠というわけではない。インストラクションを表わすビットパターンの入力によって、必要な機能が直接引き起こされるように、インストラクションの実行を、チップ内の論理回路(ハードワイヤードロジック)に行わせることができる。実際、この方法をとると、インストラクションの実行は、より高速になる。しかし、インストラクションを

内部の論理回路で解析し、実行するこのようなタイプのマイクロプロセッサは、インストラクションのレパートリーが1つ増えるごとに、その複雑さが劇的に増してしまう。したがって、最も実用的な設計とは、小さなインストラクションセットで構成された設計ということになる。

IBM O Yorktown Research Laboratory O John Cocke は、コンピュータがどのようにインス トラクションを使用しているか分析し、コンピュー タが行う処理の大部分に含まれるインストラクショ ンの数は、実際にはかなり限定されたものである という結果を導き出した。たとえば、200種類のイ ンストラクションを持つコンピュータを想定した 場合、その処理の3分の2に使用されるインスト ラクションの種類は、200種類のうちわずか10種 類程度なのである。Cocke は、より高速な処理を 実現するため、限られた少数のインストラクション をベースにしたコンピュータの開発を進めた。そう して1974年には、RISC (Reduced Insutruction Set Computer) の考案者として、世に認められる こととなった。この RISC という用語に対し、多 量のインストラクションセットを使用するマイク ロコードベースのシステムは、CISC (Complex In struction Set Computers) 設計と呼ばれている。 1987年、Cocke は、RISC に関する研究の功績を 認められ、チューリング賞(人工知能のチューリン グテスト定義で知られるコンピュータのパイオニ ア、Alan M. Turing の名にちなんで設けられた 賞)の栄誉に輝いた。この賞は、コンピュータ分野 に対する技術的貢献の最高の名誉として、ACM (Association for Computing Machinery:計算 機学会連合会) から与えられるものである。

Cocke の研究によって明らかにされたのは、演算処理の大部分は基本的なインストラクションで行われており、高性能で複雑な特殊なインストラクションではない、ということである。California大学 Berkeley 校と Stanford 大学で行われたさらなる研究によって、複数ステップの簡単なインストラクションが、1 ステップの複雑なインストラクションよりも、速く複雑な処理を実行できるという実例さえあることも証明された。この研究の結果を要約したものが、80/20 ルール(インスト

ラクションの約20%で、コンピュータの約80%の 処理を行っている)と呼ばれるものである。

RISC 設計の目的は、この20パーセントのインストラクションについてコンピュータの性能を最適化し、可能なかぎり実行速度を高めることである。残る80パーセントのコマンドは、必要であれば、高速な20パーセントのインストラクションの組み合わせで実行できる。20パーセントのインストラクションを高速化することで、残り80パーセントのインストラクションをエミュレートするオーバーヘッドを完全に補えることが、分析と実験によって証明され、RISC設計は、新しい時代の高速マイクロプロセッサの設計として、高い支持を得た。

しかし、RISC 設計とでISC 設計とを区別する明確な境界線はない。たとえば、RISC マイクロプロセッサとして知られる MIPS Computer Systemsの「M/2000」は、全115個のインストラクションレパートリーを持っているが、これに対し、CISC マイクロプロセッサである Intelの「386」は、約144個(数えかたによって変わる)のインストラクションを持っている。この違いはたしかに重要ではあるが、両者の設計を区別する分岐点にはならない。

RISC と CISC を区別する重要な特性は、コンピュータまたはマイクロプロセッサが理解するインストラクションの数よりも、インストラクションの認識方法である。インストラクションセットの数を減らすことは、単にエンジニアがその処理を能率化する1つの方法にすぎない。インストラクションを取捨選択する過程で、コンピュータの性能を損なう余分なインストラクションは切り取られ、残ったインストラクションも、データの通過を妨害する可能性を最小限に抑えるために、研ぎあげられて滑らかにされる。

RISC の根本原理を顕著に表わしている最も重要な特性は、マイクロコードが削除されていること、最も使用頻度の高いインストラクションを高速化することに主眼を置いていること、そして、コンピュータとコンパイラ (コンピュータ言語) 設計の最適化とが強く結び付いていることである。RISC 設計には、キャッシュ処理やパイプライン処

理のような、メモリを高速化する技術が使用されている。RISCでは、インストラクション自体の高速化に焦点をあてて突き詰めたものだ。各インストラクションは、1つのことだけ実行するように設計されており、また、いずれも均等に作られているため、すべてが同じ大きさで、同様の方法でオペランドを処理する。

クロックロジック

コンピュータ回路に接続されているマイクロプ ロセッサのピンに、インストラクションのコード 信号が届いても、マイクロプロセッサはそのイン ストラクションをすぐには実行しない。そんなこ とをしても混乱するだけである。電気信号は、す ぐにマイクロプロセッサの状態を変えることはで きない。また、電気信号は通常、測定可能だがとて も短い転送時間で通過する。加えて、すべての信 号がかならずしも同じ速さで変化するわけではな い。このため、マイクロプロセッサに2つのコマ ンドを連続して送ると、つねに2つが混ざりあっ ている期間が存在する。当然、この期間にマイクロ プロセッサの端子で検出される信号は意味を持っ たものではない。マイクロプロセッサは、これら の無効な信号に反応しないように、"実行すべき 有効なコマンドがある"ということを示す信号が 来るのを待って、初めてコマンドを実行するので ある。

今日のパーソナルコンピュータでは、この指示はシステムクロックによって与えられる。マイクロプロセッサは、クロックパルスを受け取るたびに、与えられたインストラクションをチェックする。クロックパルスは、信号の転送が終了して新しいインストラクションが実行できる状態であることを示しているわけだ。

しかしながら、ほとんどのマイクロプロセッサは、1つのインストラクションを1クロックサイクルごとに実行することはできない。1つのインストラクションを構成するマイクロコードのすべてのステップを実行すると、100クロックサイクル以上かかる場合もある。さらに、インストラクションはひとつひとつが異なっており、要する時間は数サイクルから数十サイクルまで様々である。

インストラクションの実行に必要なサイクル数は、マイクロプロセッサの設計によって異なり、インストラクション実行の効率の善し悪しは、その設計にかかっている。頻繁に使われるインストラクションの、実行クロックサイクルを最小限に抑えることは、今日の趨勢である。RISC設計は、1インストラクションあたりに要するクロックサイク

ル数が最も少ないことがその特徴であり、通常は 平均して1インストラクションあたり 1.5 サイク ル以下である。CISC 設計でもこの効率レベルを達 成したものがある (486 のような CISC 設計では、 1インストラクションあたり約 1.3 サイクルで動作 する)。

3.2 プログラミング言語

コンピュータのプログラムは、単なるインストラクションのリストである。コンピュータは、プログラムというインストラクションのリストを、ひとつずつ順番に実行してこれを完了するのだ。複雑な機能を実行するために、プログラムの中の各インストラクションは、1つ前のインストラクションを土台にして、その上に組み上げられている。基本的に、プログラムは、マイクロプロセッサのレシピ、あるいは「How To 本」の手順書きのようなものといえる。

マイクロプロセッサ自身は、電気信号のパターンに反応するだけである。簡単にいってしまえば、コンピュータプログラムは、情報またはひとかたまりの概念であり、その最終的な形態は、マイクロプロセッサのピンに送られる、つねに変化する信号のパターンである。しかし、ほとんどの人間とって、電気信号のパターンを頭に描くことは困難だ。このため、従来からプログラムは、人間にとってより分かりやすい形式で表わされてきた。インストラクションを記述する際に使用される、人間に認知可能な形式を、プログラミング言語という。

プログラミング言語はコード化方式であるため、その記号とコンピュータのインストラクションは1対1で対応している必要はない。マイクロプロセッサのインストラクションが、複数のマイクロコードのステップを持つことが可能なように、1つのプログラミング言語の記号で、マイクロプロセッサの複数ステップのインストラクションを表

わすことができる。

機械語

マイクロプロセッサのインストラクションをコード化するシステムの中で、最も基本的なものは、インストラクションのビットパターンを、人間が目で見て認識できる形式に文書化したものである。これは、インストラクションを、コンピュータという機械が理解する形でそのまま書き表わしたものであることから、機械語と呼ばれている。

機械語における電気信号のビットパターンは、前述の"0010110"という引き算インストラクションのように、"1"と"0"の連続で表わすことができるが、このパターンが「2 進数」の表記と一致することに注目して欲しい。つまり、すべての2 進数がそうであるように、この機械語のコードも、ほかの数値体系に変換することができる。通常、機械語のインストラクションは、16 進数(base-16、hexadecimal)の形で表わされる。たとえば、"0010110"という引き算インストラクションは"16h"になる。

アセンブリ言語

プログラムを機械語で書くことは不可能ではなく、場合によっては実際にそうされることもある。 しかし、各インストラクションに割り当てられた 数字に慣れるには、少なからず時間を必要とする。 機械語のプログラミングについて、どのパターン が何を意味するか分かるようになるまでに、数週 間から数ヶ月必要だろう。 機械語コードを別の形式で表わすには、機械語のような完全に数字だけの形式より、覚えやすい符合で表わしたほうが、人間にとってはありがたい。この場合、たとえば"16h"を"SUB"(substruction=引き算の略)という記号に変換するように、ある意味を表わす単語の一部をとって、機械語のコードひとつひとつに記号を割り当てる方法がある。アセンブリ言語は、この変換というステップを追加することで、覚えやすい記号の形でプログラムを書けるようにしたものである。

アセンブリ言語で書かれたプログラムは、最終的には、マイクロプロセッサが理解できる機械語のコードに変換されなければならない。この必要な変換作業を行うのが、アセンブラと呼ばれる特殊なプログラムである。さらに、ほとんどのアセンブラは、変換作業に留まらず、様々な機能によりプログラマの負担を軽減している。たとえば、アセンブラによって数ステップのインストラクションをまとめて、サブルーチンと呼ばれる1つのブロックにすることなどがその一例だ。サブルーチンに名前を付けておけば、同じブロックのインストラクションを何度も繰り返す代わりに、あとでその名前で呼び出して実行することができる。

ほとんどのアセンブリ言語では、機械語のインストラクションに対応しているニーモニック(記号)を使って、マイクロプロセッサを直接操作することになる。したがって、プログラマはマイクロプロセッサと同様に、1ステップずつものを考えなければならない。マイクロプロセッサが行う動作はすべて、その最も低レベルの言語で指示されるのだ。アセンブリ言語を使ってプログラムを書くということは、最も基本的なレベルでプログラムを書いているということであり、この意味で、アセンブリ言語は低水準言語という呼び方もされる。

高水準言語(高級言語)

アセンブラは、アセンブリ言語のニーモニックとサブルーチンを機械語に変換する。これと同じように、コンピュータプログラムは、さらにもう1段階の変換処理を間に挟むことによって、もっと人間の言葉に近いインストラクションを、機械語のインストラクションに変換することができる。

このような意味では、基本的に、各言語における 個々のインストラクションは、それぞれが(機械語 の)サブルーチンであるといえる。

このように、言語インストラクションと機械語 コードが1対1で対応している関係を破ることに よって、もっと抽象的な概念のレベルでのプログラミングが可能になる。これに使用されるプログラミング言語を、高水準言語(高級言語)という。高水準言語を使えば、プログラマは、情報の動きを1バイトごとに処理する代わりに、10進数や文字列、あるいは図形要素の単位で問題を扱うこともできる。言語プログラムは、これらの高水準言語で書かれたインストラクションのひとつひとつを取り出し、それを機械語の形式である、2進数のマイクロプロセッサコマンドの羅列に変換する。

高水準言語は、インタープリタとコンパイラの 2種類に分類することができる。

インタープリタ言語は、その機能にふさわしい インタープリタと呼ばれるプログラムによって、 実行されるたびに、人間寄りの言語から機械語に 翻訳される。インタープリタ言語は、プログラム の結果をすぐに得たい場合に好まれる。厄介な変 換作業が必要なく、プログラムにエラーが発生し た場合でも、それを取り除いてすぐに再テストで きるからだ。しかしその一方で、コンピュータ側 では、プログラムが走るたびに変換作業を行わな ければならず、同じ動作を何度も繰り返し実行し なければならないという問題がある。この反復作 業は、コンピュータの時間を浪費するのはもちろ んのこと、それよりも問題なのは、コンピュータ が2つの作業、つまりプログラムを実行すること とプログラムを変換することを同時に行っている ため、動作速度が遅くなってしまうということで

BASIC (Beginner's All-purpose Symbolic In struction Code) は、おそらく最もよく知られた (ただし、最もよく使用されているというわけで はない) インタープリタ言語だろう。BASIC の新しいバージョンには、コンパイラ (「コンパイラ言語」の項を参照) も含まれている。

一般に、インタープリタ言語を使用する過程では、2つのステップを踏むことになる。まず、言

語インタープリタプログラムをスタートさせると、独自のコマンド体系とプロンプトを完備した新しい環境が与えられるので、しかるのちにプログラムを実行させる。この2つのステップは、連結させて1個のステップに見せることもできる(たとえば、DOSのコマンドライン上で走るように、プログラムの名前を使ってBASICをスタートさせる場合など)。しかし、パーソナルコンピュータはプログラムを扱う前に、言語インタープリタを走らせなければならないことに変わりはない。

これに対し、コンパイラ言語は、インタープリタ言語に伴う無駄な手順を省くことができる。コンパイラ言語で書かれたプログラムは、高水準の記号から機械語に変換される。変換されてできた機械語は保管され、プログラムを動かす度に、この保管されている機械語が実行される。プログラムを高水準言語から機械語に変換する処理を、プログラムをコンパイルするといい、これに使用されるのがコンパイラと呼ばれる言語プログラムである。コンパイルされる前の、英語のような形式のオリジナルのプログラム(プログラマが書いた単語と記号)は、ソースコードと呼ばれる。

複雑な言語プログラムのコンパイルは、とても 時間のかかる処理で、数分から場合によっては数 時間かかることもある。しかし、コンピュータ側 にしてみれば、同時にインタープリタプログラム を走らせなくても、変換されてできた機械語のインストラクションを走らせるだけでよいため、いったんプログラムをコンパイルしてしまえば、高速に実行できる。ほとんどの場合、コンパイルされたプログラムは直接 DOS プロンプトから走るので、プログラム名をタイプするだけでプログラムをロード、実行することができる。コンパイラ言語には、C言語、COBOL、FORTRAN、Pascalなどがある。

コンパイラ言語は高速で効率がよいことから、インタープリタ言語で書かれたソースコードをオブジェクトコードに変換し、コンパイルされたプログラムと同じように実行できるようにするコンパイラも作られている。たとえば、BASICのコンパイラなら、BASICインタープリタを実行しなくても、DOSプロンプトから直接実行できるオブジェクトコードに変換できるのである。

このように、プログラミング言語には様々なレベルのものがあるが、いかに高水準の言語でも、また、画面にどのような画像が表示されようとも、さらには、キーボードから何を打ち込もうとも、マイクロプロセッサ内部で行われることは、すべて2進数のパルスのパターンに変換され、これに対してマイクロプロセッサが、膝蓋腱のように自動的に反応するということには変わりない。

3.3 マイクロプロセッサの構造

膝蓋腱のように反応する電気デバイスを手に入れたことは、テクノロジーにおける最も偉大な躍進のひとつとして評価できるだろう。この技術が利用されるに至ったそもそもの目的は、人間がじかに手で触れられる範囲を越えて、ことわざにある「10 フィートのさお」の向こうまで、力の及ぶ範囲を広げることであった。

簡単な電信技術はその好例であろう。スイッチ を閉じる、つまり電信機のキーを押し下げること によって、ワイヤに電流が流れ、そのワイヤの一方の端に付いている電磁石が起動してガタガタと動き、離れた場所にいる電信技師にメッセージを伝える。この偉大な発明は、耳が聞こえない電信技師への神の賜物であるだけでなく、現代のコンピュータテクノロジーの基礎でもある。このテクノロジーが、ある電気回路を、そこから離れた場所にある、別の回路の制御下に置くことを可能にしているのである。

ロジックゲート

コンピュータは、上記のような簡単な仕組みをもとに構築されている。コンピュータが行うすべての作業は、"意志決定"と"記憶"という2つの動作、いいかえれば、"反応"と"記録"という作業のどちらかが含まれている。1つの信号で別の信号を制御できれば、この両方の動作がごく簡単な電気回路で可能になる。

電信機では、ライトが接続されていた電信機のアームは、スイッチ下げると同時にライトを点灯させていた。この場合、ライトの点灯とアームの接続については、電気の仕組みによって、次のような接続の方法が可能である。たとえば、2つの電信機のアームを組み合わせて、これらが同時に動作しなければ電源スイッチが入らない、つまりライトが点灯しないようにする。あるいは、どちらか一方の信号だけでライトが点灯するように、2つの電信機を連結する。さらには、電信機が起動されたときにライトが消えるように、スイッチを逆に取り付けることもできる。

この3つの設計例は、「AND」、「OR」、「NOT」の3種類のロジックゲートを構築する基礎になる。すべてのデジタルコンピュータは、これら3種のロジックゲートの組み合わせで構成できる。これらのゲートによって、ただの電気的な集合体であるコンピュータに、意志決定の機能が加えられるのである。前述の例における決定事項は簡単で、いつ、つまりどの条件でライトを点灯させるかということだけだが、いずれも単純なこれら3つのゲートを様々に組み合わせることによって、複雑な論理判断が可能なコンピュータを構築できるのである(このときブール論理を使用する)。

これらのゲートを組み合わせて、メモリ(記憶装置)を作ることもできる。スイッチで制御される電圧をフィードバックさせ、再びスイッチにエネルギーを与えて動作を続けられるようにすれば、ゲートの状態を保持できる。つまり、いったんスイッチに電圧が供給されると、スイッチはオンに切り替わり、自分自身に電圧を供給する。したがって、入力電圧の供給を中止しても、スイッチはオンのままで、自分からの出力によって、自分自身に電圧を供給し続けるわけだ。要するに、電源を

オンにされたことを記憶するのである。この単純なメモリ回路の記憶を消して最初の状態に戻すには、フィードバック回路の中に、保持している電圧を中断するように接続したスイッチを入れればよい。この2つの状態を持つメモリシステムは、2つの状態の間で反転(フリップ)することから、フリップフロップと呼ばれている。

この設計の基本は、一方の電気の流れ(または電圧)を、他方の電気の流れの制御に使用することである。技術の進歩によって、この動作を実行するメカニズムは着実に改良されており、それに伴い、先のスイッチ式電信機の例の基本になっている原理も改良され、「リレー」と呼ばれる1つのメカニズムを完成した。このメカニズムは今日でも電気回路に使用されている。

真空管は、遠隔操作スイッチの機械部分を削除することで、リレーの設計を改良したものである。真空管は、異なる電荷どうしの引力と、同じ電荷どうしの反発力を利用し、微量な電荷を使って、チューブ内の真空部分を通る電子の流れを制御できるようにしたものである。この真空管がリレーに優る点はその速度で、リレーが1秒間に数千回程度の速度で動作するのに対し、真空管は1秒間に数百万回のスイッチングが可能である。最初にコンピュータと認められた機械は、真空管をベースにしたロジックゲートで構成されており、その数は数千個であった。

アナログ回路とデジタル回路

真空管は、まったく新しいテクノロジーの到来を告げるものであった。小さい電流(電圧)を使って大きい電流(電圧)を制御するプロセスは、増幅と呼ばれる。大きな電流(電圧)は増幅され、より強くなっているが、制御電流(電圧)の変化に正確に比例している。大きな信号の変化は、小さな信号の変化と完全に相似(analogous)関係にあることから、このような方法で増幅を行うデバイスをアナログデバイスと呼ぶ。信号制御の強度によって、連続した可変性の情報を表わすことができる。たとえば、ステレオ装置の電気信号は、それが表わす音と相似関係にある。

制御信号によって、大きい信号が最低値(0)から 最高値へ変化するときに、増幅のしきい値を超え る。すなわち、小さい信号の制御で、大きい信号 のオンオフを切り換えられるのである(スイッチン グ)。出力信号の2つの状態(オンとオフ)は、情 報を表わすバイナリコードとして使用できる。ス イッチを使えば、たとえば、数字の7を、連続した 7つのパルスで表わすことができる。情報は、こ のような数――デジット(0から9の数字)――の グループとしてコード化できるので、このスイッ チングテクノロジーを利用したデバイスをデジタ ルデバイスという。このスイッチングは、電信機 のキーの動作やリレーのスイッチングに相当する ことに注目してほしい。スイッチングによってロ ジックゲートが構築され、そのロジックゲートで コンピュータが構築されるのである。

半導体

コンピュータにおいて、真空管をベースにした 電子回路に関わる問題は数多くある。とくに、発 熱と大きさの問題は重要である。真空管を動作さ せるためには、真空管を電球のように発光させな ければならず、必然的に熱が発生する。この場合 の熱は、データを"処理する"というよりも、"溶 かす"といったほうが適切なほどの温度で、真空 管を燃やし尽くしてしまう。このため、真空管を ベースにした大型コンピュータは、毎日電源を落 としてメンテナンスを行う必要があり、その作業 のために数名の技術者を雇わなければならなかっ た。加えて、真空管を使った回路は巨大で、1950 年代の SF 小説に登場するような家のように巨大 なコンピュータでも、性能の点では、今日のデスク トップマシンにははるかに及ばない。真空管べ一 スのコンピュータ設計では、一般に1個のロジッ クゲートに1個の真空管が必要で、パーソナルコ ンピュータが数十万のゲートから成ることを考え ると、真空管ベースのコンピュータに大きさの問 題があることは、容易に想像がつく。さらに、コ ンピュータが大きくなるに従い、その思考が回路 を通って伝わる時間も長くなり、思考作業が遅く なっていくのである。

今日、実際にパーソナルコンピュータを作るに

は、1947年にベル研究所で明らかになった、エレクトロニクスにおけるもう1つのめざましい発見 ――トランジスタ――が必要である。3層に形成されたゲルマニウム(のちにシリコンが使われるようになる)の小片であるトランジスタは、1つの層に流された電流で、ほかの2層の間を流れるより大きな電流を変化させられるという特性を持っている。真空管とは異なり、電流はゲルマニウムまたはシリコンという固形物質を通って完全に流れるため、トランジスタには加熱された電子(熱電子)はまったく必要ない。このように、真空管のいらないテクノロジーは、一般にソリッドステートと呼ばれる。

ゲルマニウムとシリコンは特殊な物質 (実際には金属の一種)で、半導体と呼ばれている。半導体という名称は、この物質が電流の流れに抵抗する様子を表わしている。その抵抗の度合いは、伝導体 (銅線など) よりは強いが、絶縁体 (電線の被覆に使われるプラスチックなど) ほどではない。

半導体は、それ自身は取るに足らないもので、 どっちつかずの性質は、まるでぬるま湯のようで ある。しかし、半導体に不純物を加えると、顕微 鏡でしか見えない半導体の格子構造の結晶に不純 物の原子が割り込み、劇的にその電気的特性を変 化させる。この不純物を加えるプロセスをドーピ ングという。不純物にも2種類あり、1つは、特 殊な電子、つまり負電荷を搬送する性質を持った 電子を半導体の結晶に加えるもので、もう1つは、 通常は電子が存在する結晶格子に、正電荷の搬送 体の役目を果たす穴(ホール)を残すものである。 半導体は、加えられた不純物のタイプによって、 特殊な電子を加える場合(負電荷搬送体)はNタ イプ、ホールを開ける場合(正電荷搬送体)は P タ イプと呼ばれることが多い。たとえば、通常の3 層構造のトランジスタは、どのタイプの半導体が 中間層になっているかによって、「NPN 構造」と 「PNP構造」の2つに分けられる。

現代のコンピュータ回路では、ほとんどの部分が、これらとはまた別の種類のトランジスタをベースにしている。このタイプのトランジスタでは、半導体物質の狭い溝を通る電流の流れを、金属酸化物でできたゲート(溝を取り囲んでいる)に加え

られた電圧によって制御する。このような構造のトランジスタは、Nタイプの半導体で作られているのが最も一般的であることから、"N-channel Metal Oxide Semiconductor" (N型金属酸化膜半導体)の頭文字をとって、NMOSと呼んでいる。また、互いに補体物質(反対物質)である Nチャネルデバイスと Pチャネルデバイスを結合させると、CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor:補体金属酸化膜半導体)と呼ばれる半導体ができる。

かつて、典型的なマイクロプロセッサは、NMOSのテクノロジーで作られていた。NMOS設計は、設計が簡易であることと、チップが小型である(マイクロチップレベルに搭載可能)という特長を持っているが、その一方で、ゲートがONの状態では、絶え間なく電力を消費するという大きな欠点がある。このため、マイクロプロセッサの数万から数十万に及ぶゲートの約半分に一定時間スイッチを入れると、NMOSチップは多量の電流を引き込み、この電流の流れによって熱が発生してしまう。これに加えて、絶えず電源を消費する性質から、NMOSは、冷却が難しい小型コンピュータや、バッテリ駆動のラップトップやノートブックコンピュータには適さない。

一方、初期の一部および現在のほとんどのマイ クロプロセッサは、CMOS 設計を採用している。 CMOS 設計は、ひとつひとつのゲートに少なくと も2個のトランジスタが必要なため、本質的には NMOSより複雑であるが、同時にこの仕組みに は利点がある。1つのゲートの片方のトランジス タに電源が投入されたとき、その補体であるパー トナーのトランジスタは電源が切られるため、回 路を通る電流の量を最小限に抑えられることにな る。CMOS ゲートがアイドル状態を維持している とき、電力はほとんど必要ない。しかし、状態が 変化する瞬間には、きわめて短い時間だが大きな 電流が流れる。したがって、CMOS ゲートの状態 の変更が速くなるに従い、流れる電流も多くなり、 発熱量も多くなる。すなわち、CMOS 回路では、 作動速度が速くなると、そのぶん熱くなるわけで ある。このような、速度によって誘発される温度 上昇は、多くのマイクロプロセッサにおける制約

の1つである。

CMOS テクノロジーは、NMOS で作ることができる論理機能のすべてを、電気をかなり節約した形で複製することができる。その一方で、回路の複雑さを増すため、NMOS よりも製造コストはいくぶん高くなる。

集積回路

トランジスタは真空管より小さく、また、動作させるのに加熱をする必要がないので発熱も少なく、真空管に伴う大きさや発熱などの問題は解決できる。しかし、どのロジックゲートを構築する場合でも、1個以上のトランジスタ(および数個の電子部品)が必要である。論理ゲート1つにつき1平方インチのスペースで足りると仮定しても、パーソナルコンピュータのすべてのロジックゲートを構成するには、16平方フィート(約1.5平方メートル)の回路ボードが必要になり、トランジスタといえども大きさの問題は依然として存在する。

1950年代がまさに終わろうとしていたころ。ト ランジスタのこの限界に対して、Fairchild Instru ments O Robert N. Novce & Jack S. Kilby O 2人から、それぞれ独自に考案しながら基本的に はまったく同じの、画期的なアイデアが提案され た。それは、複数の半導体デバイスを1個のパッ ケージに収めるというものである。トランジスタ は通常、ウエハーと呼ばれる薄く切ったシリコン 片からできる結晶であり、一般に、同じウエハー から、1回で数千個のトランジスタができる。ウエ ハーを切り分けて1個1個のトランジスタを作る 代わりに、彼らが考えたのは、トランジスタを連 結して(集積して)1枚のウエハー上で完全な電子 回路を作ることだった。しかし、Kilby がマイクロ ワイヤーでデバイスを連結したのに対し、Novce が思い描いていたのは、1つのシリコン上でデバ イス間を相互に連結した回路の製造である。この 構想をもとに、Noyce は集積回路(IC)として知 られる電子デバイスを開発し、1959年7月30日 特許を申請した。ICの構造が、灰色がかった結晶 から切り取られた、1枚の小さなシリコンチップ であることから、現在では単に "チップ"と呼ばれ ことが多い。集積回路テクノロジーは、アナログ

式でもデジタル式でも応用できるが、この技術の 最も重要な開発の所産は、マイクロプロセッサで ある。

集積回路には、独立した(ディスクリート)トランジスタで構成した回路に優る長所がいくつかあるが、その最たるものは小型化の一言につきるだろう。最も重要な点は、集積化によってパッケージの数を削減できることで、ロジックゲートごとに必要だった金属あるいはプラスチックのトランジスタケースは姿を消し、多数(数百万個におよぶ)のゲートを1個のチップパッケージに収めることができたのである。

チップ内部の電流は、外部の回路と直接に作用する必要がないため、チップは自在に小さく作ることができ、チップ上に構成した回路全体も、より小さくすることができる。実際、現在では、集積回路内の回路要素の大きさの制限は、ほとんど製造技術によって決まっており、内部回路の大きさは、現在の製造装置で可能な最小限度になっている。集積回路の技術を使用した Intel の最新のマイクロプロセッサは、直径約 0.4 ミクロンの連結線を使用して、百万個以上ものトランジスタを1つのパッケージに収めたものである。

集積回路の名称は、その回路要素の大きさに応じて階層化された。単に"IC"といった場合、最も粗い(集積度の低い)ものを指す。大規模集積回路(Large Scale Integration: LSI)は500~20,000個の回路要素を集積したもので、超LSI(VeryLarge Scale Integration: VLSI)は20,000個以上の回路要素を1つのチップに集積したものである。最新の製品はたいへん複雑になり(たとえばIntelの486は、チップ内部に約120万個相当のトランジスタが入っている)、そのようなチップはUltra Large Scale Integration (ULSI)という新しい名称で呼ばれている。

温度の影響

回路はチップの中に高密度で詰め込まれている ため、熱は大きな問題である。チップの結晶構造 は繊細で、これを破壊する可能性のある熱は半導 体の敵である。チップが過度に熱くなると、回復 不能なまでに破壊されてしまうこともある。

熱によって、破壊という単純な事象だけでなく、 もっと微妙な問題も派生する。半導体回路の伝導 性が温度によって変わるため、チップが過度に熱 くなったり過度に冷たくなると、トランジスタお よびロジックゲートの重要なスイッチング速度も 変わってしまうのである。温度によって誘発され る速度の変化によって、マイクロプロセッサの演 算速度まで変わってしまうことはないが(チップ は常にシステムクロックに同期しているため)、マ イクロプロセッサ内の信号間の相対的なタイミン グに影響を与える可能性がある。もしタイミング が過度に大きく変わってしまうと、マイクロプロ セッサは誤動作し、結果的にシステムを破壊する 可能性がでてくる。このため、すべてのチップに は、このようなタイミングのエラーを生じずに動 作することを保証する温度範囲が定められている。

チップは、速度が速くなるに伴い発熱量が多くなるため、発熱速度に熱の放射が追い付かない状態になる可能性がある。チップは、外部の熱源から熱を加えられなくても、内部からの発熱で自分自身に損害を与え、システムそのものが壊れてしまう恐れがある。このような問題の回避策として、コンピュータメーカーはしばしば、チップの冷却を補助する目的で、マイクロプロセッサやそのほかの半導体部品にヒートシンクを付けている。

ヒートシンクは簡単な金属製の加工品で、マイクロプロセッサなどの発熱する回路部品の表面に取り付ける。これにより、チップの表面積が増加し、より多くの熱を放射できるようになるわけだ。ヒートシンクには、複数の"ひれ"が列状に並んだもの、ボーリングのピンのように並んだもの、あるいは幾何学模様に並んだものなどがあり、いずれの場合もチップの表面積を増加させるように配慮された形になっている。金属は熱の伝導率が高く、マイクロプロセッサの熱を素早く拡散できる素材であることから、通常、ヒートシンクにはアルミニウムが使われている。

ヒートシンクは、冷却を行うにあたり、外部の エネルギーを必要としない、つまり、電源を使用 しないメカニズムである点から、自然冷却法とい える。ヒートシンクは対流を利用した冷却システ ムで、ヒートシンクを通って循環する空気に熱を 移してチップを冷却している。空気は暖められるとヒートシンクから上昇し、代わって冷たい空気がそこへ流れ込む。これが繰り返されて空気が循環し、チップが冷却されるという仕組みである。これとは対照的に、強制冷却法として、熱の除去に機械的あるいは電気的な手段を借りる方法があ

る。その中で最も一般的なものは、ファンを使ってヒートシンクの受動的な効果を増大させる方法である。ファンによって、自然に対流する量よりも多くの空気をヒートシンクを通し、循環させるわけだ。

3.4 マイクロプロセッサの内部

マイクロプロセッサの内部回路は、その機能によって、入出力装置(I/Oユニット)、制御装置、論理演算装置(ALU)の3つの部分に分けられる。制御装置と論理演算装置の2つは、合わせて中央演算処理装置(CPU)と呼ばれることも多い。またこの名称は、マイクロプロセッサ全体を示す単語としてもしばしば使われている。

入出力装置は、マイクロプロセッサとそれ以外の部分の回路とをつなぐもので、プログラムに従って、制御装置と論理演算装置のレジスタにインストラクションとデータを渡す機能を持った回路である。また、マイクロプロセッサ内部の半導体回路の信号レベルとタイミングを、ほかの部品に合わせる役目も果たしている。たとえば、マイクロプロセッサの内部回路は、より高速に、かつ発熱を抑えて動作できるように、電力消費を極力抑える設計になっている。マイクロプロセッサはとても繊細な回路なので、外部部品に連結するときに必要になる大きな電流を扱うことができない。このため、マイクロプロセッサから発信された信号は、電流を増加させるために、I/Oユニットの信号バッファを通過するようになっているのである。

I/Oユニットは、数個のバッファから成るような単純な構成になっている場合もあるし、多くの複雑な機能を含んでいる場合もある。後者の例でいえば、最高性能のパーソナルコンピュータに使

われている Intel の最新のマイクロプロセッサは、マイクロプロセッサの高速な動作速度を、外部の低速なメモリに合わせるために、I/Oユニット内にキャッシュメモリとクロックダブリング機構を備えている。

制御装置は、クロックで制御される論理回路で、その名前が示すとおり、チップ全体の動作を制御するものである。一般的な集積回路とは違って、制御装置部の回路の全体的な機能はハードウェア設計によって決められるため、この回路自体は柔軟性がある。制御装置は、外部のプログラムに含まれているインストラクションに従い、論理演算装置に何をすべきか命令する。制御装置は、I/Oユニットからインストラクションを受け取ると、それを論理演算装置が理解できる形式に変換し、プログラムのどのステップを実行中なのかを絶えず追跡している。

論理演算装置は、マイクロプロセッサによって 実行される算術演算と論理演算についての、すべ ての判断を司っている。制御装置でデコード (解 読) されたインストラクションを獲得し、直接その インストラクションを実行するか、もしくは、適 切なマイクロコードを実行して、レジスタに置か れているデータを操作する。その結果は I/O ユ ニットを通して、マイクロプロセッサの外部に戻 される。

3.5 マイクロプロセッサの分類

マイクロプロセッサの3つの構成要素は、相互に作用しあう関係にある。最も簡単な構造のマイクロプロセッサを例にとれば、ほとんどの場合、I/Oユニットは制御装置の制御下にあり、制御装置の動作は論理演算装置の演算結果によって決定される、という仕組みになっている。この3つの部分の組み合せによって、マイクロプロセッサの能力と性能が決まるのだ。

また、これらの各ユニットは、システムの処理 速度に影響を与える。制御装置は、マイクロプロ セッサの内部クロックを操作しており、そのクロッ ク速度がチップの動作速度になる。また、I/Oユ ニットによってマイクロプロセッサのバス幅が決 まり、このバス幅によって、データとインストラク ションがマイクロプロセッサを出入りする速度が 決まる。さらに、論理演算装置のレジスタの構成 は、マイクロプロセッサが一度に処理できるデー タ量を決めている。

レジスタの構成

レジスタは、マイクロプロセッサの種類によって数が異なるだけでなく、そのサイズも異なる。 レジスタのサイズは、一度に処理できるビット数 が基準になる。たとえば、16 ビットマイクロプロ セッサであれば、一度に16 ビットのデータが保持 できるレジスタを1 個以上持っているわけだ。

レジスタの数を増やしても、マイクロプロセッサの本来の動作速度は速くはならない。パーソナルコンピュータで使用されるマイクロプロセッサの設計では、最高2個のレジスタに対する操作を一度に1つしか実行できない。しかしながら、レジスタの数が多くなればデータを置く場所が増え、マイクロプロセッサに情報を出入りさせる回数を減らすことができるため、プログラムのステップやクロックサイクルを節約できる可能性はある。つまり、より効率のよいプログラムを書く手助けになりえるのだ。

レジスタの数がマイクロプロセッサの動作速度

を左右することはないが、レジスタの幅は、マイクロプロセッサの性能に多大な影響を及ぼす。各レジスタが保持できるビット数が多くなれば、マイクロプロセッサの各作業で処理できる情報の量も多くなる。したがって、たとえば、16 ビットのレジスタは、潜在的には8 ビットのレジスタの2 倍の速度で演算できる能力があるということになる。

ただし、幅の広いレジスタを使用することが、 実際に性能の向上に有利に働くかどうかは、走らせるソフトウェアに依存している。たとえば、コンピュータプログラムが、32 ビットのレジスタを持つマイクロプロセッサに、16 ビット単位でデータを処理するように命令した場合には、レジスタの能力はフルに活用されない。このため、16 ビットのインストラクションを使って書かれた16 ビットのオペレーティングシステムである「DOS」は、今日の高性能な32 ビットマイクロプロセッサを十分に生かしきれない。これは、DOSの下で走るように書かれたほとんどのプログラムも同様である。

バスの構成

IBM 互換のパーソナルコンピュータに採用されているマイクロプロセッサは、I/O ユニットに対して2種類の外部接続を持っている。1つはマイクロプロセッサがデータを送ったり受け取ったりする主記憶(メモリ)の位置(アドレス)を指示するもので、もう1つはデータやインストラクションそのものを伝えるものである。前者をアドレスバス、後者をデータバスという。

マイクロプロセッサのデータバスのビット数は、情報を移動させる速度に直接影響を与える。チップが1回で使用できるビット数が多くなれば、その速度は速くなる。IBM の各種のパーソナルコンピュータには、8ビット、16ビット、32ビットの各データバスを持つマイクロプロセッサが使用されている。

一方、アドレスバスで使用可能なビット数によって、マイクロプロセッサがアドレス指定できるメ

モリの容量が決まる。たとえば、16本のアドレスラインを持つマイクロプロセッサは、2の16乗、つまり、65,536 (64K) のアドレスロケーションを持っているということになる。様々なパーソナル

コンピュータに採用されているマイクロプロセッサのアドレスバス幅は、20 ビットから 32 ビットまで様々である。

3.6 マイクロプロセッサの位置

通常の場合は、パーソナルコンピュータの中にあるマイクロプロセッサを、ユーザーが見たり触ったりする必要はまったくない。マイクロプロセッサの信頼性はこれまでに十分証明されており、将来的にもそれが維持されることは確かだ。したがって、マシンが正しく動作している限りは、コンピュータの内部にマイクロプロセッサというものが存在しており、これが与えられた仕事を処理しているということさえ知っていれば、マイクロプロセッサについて、ほかには何の知識も関心も持つ必要はない。しかしながら、昨今では、システムをアップグレードするために、新しいマイクロプロセッサをシステムに搭載したり、場合によっては交換したりすることすら要求されるため、なかなかそうもいってはいられなくなってきた。

まず、マイクロプロセッサを交換する前には、 どのチップがそれなのか分からなければならない。 とはいえ、これはたいへん簡単なことで、大抵の 場合、コンピュータのマザーボード上にある中で 一番大きい IC チップを見つければ、それがマイクロプロセッサである。

システムボード上に大きいチップが複数ある場 合でも、その中の1つはかならずマイクロプロセッ サである。マイクロプロセッサ以外のチップでも、 複雑な機能を持っているものは、システムボード と多数の接続点を持たせるために、多くのリード を接続できる大きいパッケージが必要で、マイク ロプロセッサと同じぐらい大きいものもある。ほ とんどのサポートチップがシステムボードに直接 はんだづけされているのに対し、マイクロプロセッ サチップは、ソケット(すぐ見える位置にあるもの や、隠れていて見えないものがある)を介して搭 載されるのが一般的である。また、ヒートシンク の下に隠れていることもあるが、熱放射用のフィ ンがあるのでそれと分かる。様々なマイクロプロ セッサとそのパッケージについては、マイクロプ ロセッサのモデルの項で個別に詳述する。

3.7 マイクロプロセッサの系統

マイクロプロセッサの発展の歴史は、そのほとんどが "数"を増やすことだった。つまり、新世代のマイクロプロセッサでは、データバスとアドレスバスの幅を広げ、また、レジスタの数と幅を増加させており、結果として、これらで構成されるマイクロプロセッサとそれを搭載したパーソナルコンピュータはますます強力になった。

4004ファミリー

本当の意味で汎用マイクロプロセッサといえる ものを初めて製造したのは Intel Corporation で、 1971 年のことであった。Intel がそのマイクロプロセッサに付けた「4004」という名称からも想像 されるように、この画期的なチップは、4 ビット のバスによって一度に 4 ビットの処理が可能なレ ジスタを持っていた。4ビットというビット数は、 現在の標準に比べるとまったく取るに足らないも のだが、"0"から"9"までの数字と、それ以外のシ ンボルをコード化するには十分で、演算にもちょ うど適したビット数だった。4004は、当時ずっと 大型のコンピュータと同じ加減乗の演算機能(た だし速度では劣る)を有していた。

4004は、次のような経緯で誕生した。1969年 に、Intel は日本の計算機メーカーであるビジコ ン社(現在はもうない)からチップを作る発注を受 け、その要求仕様に合わせて Ted Hoff が設計し たチップが 4004 の始まりである。このとき最初 に提案されたのは、様々なタイプの計算機に使わ れていた12個のチップを、ひとつにまとめること だった。12個のチップは、それぞれ異なる計算機 専用に使用されていたため、必然的に各々の製造 量は少なく、開発費をかけられないという問題が あった。これに対し、Hoffが考えたのは、すべて の計算機の要求を満たすような、1チップの汎用 デバイスを創り出すことだった。結果として 4004 は成功を収め、ローコスト計算機の時代の到来が 告げられた。そして、設計者達は初めて、プログ ラム可能な単体の半導体デバイスを手にすること ができたのである。

大型コンピュータは数字だけでなく、アルファ ベット記号やテキストといった、4004の認識範囲 を超えるものまで扱うことができる。マイクロプ ロセッサをより汎用度の高いデバイスにするため に、アルファベット文字はもちろん、それ以上の ものも扱うことができるように、チップのレジス タのサイズを拡大することが必要だった。6ビッ トあれば、数字に加えてアルファベットの大小文 字を表わすことが可能だが(2の6乗で64個のシ ンボルをコード化できる)、これだと、句読点な どの区切り記号や、制御コードなどの細かい文字 をコード化する余地はほとんどない。さらに、デ ジタルデータの標準単位として"バイト"(=8ビッ ト)が登場したこともあり、結局、1972年に発表 された Intel の「8008」という次世代のマイクロプ ロセッサのレジスタのサイズには、8ビットが採 用されることになった。

ただし、8008は、実質的には各レジスタのビッ

ト数が増えただけの、単なる 4004 の改訂版である。8008 はたいへん興味深く、かつ実用的なチップで、パーソナルコンピュータを初めて作り出す試行錯誤の過程において、そのマイクロプロセッサとして採用されることになった。

8080ファミリー

Intelは(ほかのICメーカー同様)さらに開発を続け、1974年、かなり思い切った改訂版として「8080」というチップを作った。8080は8008とは異なり、バイトサイズのデータを前提とし、8008の全コマンドはもちろん、それを上回る量のコマンドセットを持っていた。Intelのマイクロプロセッサ開発のパターンはここで決まった。つまり、古くなったものを完全に捨て去るのではなく、それを進化させる形で、コマンドセットの量と性能を増大させ、ソフトウェアの下位互換を保証するのである(ただし互換性には制約がある)。このような改良によって、8080は、小型コンピュータのベースとして必要な能力を備えた、最初のチップになった。

このとき、8080を改良するさらに素晴らしいアイデアを思い付いた Intel の数名のエンジニアは、自分たちで Zilog Corporation を設立し、そのアイデアを実現した「Z80」マイクロプロセッサを世界に向けて発表した。 Z80 は、8080 を進化させてより多くのインストラクションを持たせたマイクロプロセッサだったが、それだけには留まらないさらに大きな意義を持っていた。 Z80 は、小型コンピュータの標準オペレーティングシステムとして最初に広く受け入れられた「CP/M」(Control Program for Microcomputers) の能力を開花させて、一大変革を起こしたのである。

オペレーティングシステムは、プログラムとマイクロプロセッサ、そしてこの2つに関連するハードウェア (記憶装置など)の3者を連結する特殊なプログラムである。Digital Research によって開発された CP/M は、大型コンピュータに採用されていたオペレーティングシステムを範にして、それをマイクロプロセッサ上で動作する大きさにまで縮小したものである。完全とはいえないまでも、多くの業務用小型コンピュータの標準になる

には十分な出来であった。CP/Mは馴染みやすく、大型コンピュータのプログラマもこれに容易に適応することができたため、CP/Mは彼らからも支持された。CP/Mは8080の上で走るように設計されていたが、Z80チップはそれより高い性能を提供することができたことから、CP/Mシステムを動作させるためのプラットフォームとして選ばれることになった。

この間にも、Intel は8ビットマイクロプロセッサの設計改良を続けていた。その1つの成果が「8085」である。8085 は8080 にさらに改良を加えたもので、単一の5V 電源を使用し、8080 に比べて周辺チップが少なくて済むように設計されていた。さらに、ベクトル割り込みとシリアルI/Oポートまで含まれた設計になっていた。しかし残念なことに、小型コンピュータ業界からの支持はまったく得られず、8085 を採用して設計されたわずかな小型コンピュータも、現在では完全に忘れ去られてしまっている。

8086ファミリー

1978年、Intel はさらにテクノロジーを押し進め、レジスタのサイズを 2 倍の 16 ビットにして、8080 の 10 倍の性能向上を謳ったマイクロプロセッサ「8086」を開発した。8086 は 8080 の改良版で、2 倍の速さで情報を入出力できるように、データバスのサイズも 2 倍の 16 ビットに増やされ、さらに、8080 より格段に大きい 20 ビットのアドレスバスによって、1,000,000 バイト (1M バイト)を超えるメモリを直接制御することも可能になった。

8086 は、Z80 の "従兄弟"として、また 8080 直 系の後継チップとして、コマンドセットのほとん どを初期のチップと共用していた。8080 のコマン ドが 8008 のコマンドを改良して作られたように、 8086 のコマンドも 8080 のコマンドを基にして改 良されたものだ。8086 のレジスタは巧みな設計に なっており、16 ビット幅でも、また 8080 のレジ スタと同じ 8 ビット幅でも動作できる。

■セグメントメモリ

8086 では、メモリシステムも 8080 のメモリのスーパーセットになるように考慮された。8086 の

1M バイトのメモリは、1M バイトを1つの自由空間にするのではなく、64K バイトずつ16 個のセグメントに分割されている。実質的には、8086のメモリは 64K の 8080 のメモリを連結したものである。8086 は各セグメントを個別に見ているため、複数のセグメントにまたがるような、大きなデータブロックを存在させることはできない(厳密には可能だが、少なくとも簡単ではない)。

様々な点で、8086 は時代を先取りしたチップであったといえる。8086 が作られた当時、小型コンピュータは8 ビット構造をベースにしており、メモリは高価で、1M バイトなどは十分すぎる大きさと思われていた。また、ほかのほとんどのチップは、16 ビットのデータを一括して処理できる設計にはなっていなかった。このため、8086 を採用すると、エンジニアは、当時はコスト効果のまったくなかった、フル16 ビットのデバイスを設計しなければならなかった。

■ 簡易版 8086=8088

上のような 16 ビット設計のコストの問題を考慮して、Intel は 8086 の発表から 1 年後に「8088」を発表した。8088 は、16 ビットのレジスタ、20 本のアドレスライン、同一のコマンドセットといったように、すべての点で 8086 と同じだったが、1 つだけ違う点があった。それは、データバスが 8 ビットに減らされたことで、これによって 8088 は 8 ビット仕様のハードウェアを利用することができたのである。

もし、最初のパーソナルコンピュータの設計をひそかに始めていた IBM に採用されなければ、8088 は設計が一歩後退したチップとして、8085のように歴史の中から消えてしまっていたかもしれない。IBM の意図が、8088 を使用してパーソナルコンピュータのコストを削減することであったのは明らかだ。8088 の8 ビットデータバスは、安価ですぐ手に入るサポートチップが利用できた。同時に、8088 の内部設計が 16 ビットになっている点は、これを採用したマシンを宣伝する際に、すでに出回っている8 ビットマシンに対する大きな強みとなった。

また、8088が8080の流れを汲んでいるという

ことは、当時使用されていた CP/M プログラムという財産を、8088 の新しいハードウェアに簡単に移植できる可能性を暗にほのめかしていた。しかし、結局はこれらの利点は一時的なものであり、幻想であることが明らかになった。16 ビットのサポートチップは安価に供給されるようになり、「IBM」のブランド名のほうが8088の16 ビットレジスタよりも価値があることが分かり、CP/M プログラムが PC に直接移植されることはほとんどなかったからである。

結局、中途半端な8088の重要性は、小型コンピュータ世代の基礎になった点にある。PCの互換機開発への最初の道は、8088によって敷かれたのである。

8086 は、8088 の 2 倍の速さを実現する能力があり、8088 とほぼ完全な互換性がある。このため、性能を競い合っていたメーカーは、新たな開発を行って、8086 を採用したパーソナルコンピュータを設計した。IBM でさえ、ローエンドの PS/2 を高性能にするために、古くても性能の高い 8086を選んだ。

8088 と8086 は、互換性があるとはいえ、交換して使用することはできない。8086 はデータの幅が8ビットぶん増えているので、さらに8本のデータライン(リード線)が必要になる。したがって、両者のチップの接続方法は異なる。8088 と8086 は、1対1のピン互換でもプラグ互換でもないため、コンピュータはどちらか一方のチップに合わせて設計しなければならないのだ。

■省電力設計

通常のマイクロプロセッサは、機能を実行するのに数ワットの電力を必要とする。電気を壁のコンセントから引く場合なら、電力量は問題にならない。普通の家庭では 10kW ぐらいの電力量があり、各コンセントも、2kW 程度は供給できるようになっているからである。しかし、バッテリはこんなに気前がいいわけではない。たとえば、AA電池だと、供給できる値はおおよそ 20mW (0.02W)ぐらいだろう。したがって、ポータブルと呼ぶのにふさわしいコンピュータを作るときにバッテリ電源を使用すると、マイクロプロセッサを駆動す

るのに必要な電力量について、大幅な削減が要求 される。

オリジナルの8086 チップと8088 チップは、設計は容易だがエネルギーの消費が大きい NMOS テクノロジーを使って設計されていたため、低消費電力が必須条件であるラップトップやノートパソコンには不適当だった。このため、電力を浪費する NMOS 設計の欠点を補う CMOS テクノロジーをベースにした、同等のマイクロプロセッサが開発された。

8088 と 8086 には CMOS 設計のバーションがあ り、それらは名前の中に "C"を入れて、「80C88」、 「80C86」という名称を付けて、NMOS 設計のも のと区別している。この低電力マイクロプロセッ サは、NMOS 設計の同等品と、ロジックの点では まったく同じで、同一のコマンドセットを持ち、同 じプログラムが走る。しかし、電気的な要件が異 なるため、コンピュータは、CMOS 回路あるいは NMOS 回路のどちらか一方に合わせて設計しな ければならない。一方に合わせて設計されたパー ソナルコンピュータを、電気的に不都合があるか らといって、単純にもう一方へ置き換えることは できないのである(ラップトップコンピュータで交 換が可能なものも一部あるが、これらのマシンは ほとんど例外なく CMOS のマイクロプロセッサ を採用している)。

■さらなる集積化

マイクロプロセッサが、その小さな銀色のシリコンに、数千個の論理要素を合体させてできているように、さらに多くの機能を1個のチップにまとめることが可能だ。小型コンピュータの構成には、通常、マイクロプロセッサのほかに、割り込みコントローラや、タイミングジェネレータ、バスコントローラといった特殊な回路が含まれているが、これらの機能をすべてマイクロプロセッサの回路に組み入れて、1個のチップにすることも可能なのである。

通常は、マイクロプロセッサには、これらの特殊な回路は含まれていない。なぜなら、マイクロプロセッサは汎用デバイスであり、デスクトップコンピュータシステムにのみ、用途を限定したも

のではないからだ。前述の回路を追加しても、工 業用プロセス制御システムなどに使用される場合 には、無駄になってしまう。

しかし、小型コンピュータ産業が成長するに従い、小型コンピュータ専用に最適化されたチップの市場も大きくなり、Intelが8086を作った頃には、1つのベースにサポート回路まで組み入れた完全なチップである8086も、市場の可能性を認められるほどになった。1982年に「80186」という名前で発表されたチップは、多数の互換機と、少なくとも1種類のアップグレードボードに採用された。またIntelは、「80188」というチップも発売しているが、これも基本的には80186と同じようなチップで、8088を採用し、80186より多くのサポート回路を組み込んだものである。

■海外の競合品

米国外にも、8088 や8086 と交換して使用できるチップが2つある。日本電気 (NEC)の「V20」 (8088 と互換)と「V30」(8086 と互換)である。これらのチップは、Intelのチップと同じコマンドセットを使用しているが、両者はけっして同一のものではない。NECのチップは、後発の優位性を生かして設計されているため、ほとんどのマイクロコードが異なっているという点がもっとも大きな相違点だ。8088 を V20 に、あるいは 8086 を V30 に交換すると、マイクロプロセッサ全体のスループット (処理能力)を 10%から 30%まで向上させることができ、当然これらのチップを使ったコンピュータも高速化できる。

すべての集積回路の設計には、数年間にわたる研究と開発の成果が含まれている。このような成果は、他人がリバースエンジニアリング(設計から製品を作るのではなく、製品そのものを解析して別の製品を作ること)によって模倣されることから保護できる。自社のチップの設計を他社に盗用されることを防ぐために、ほとんどのICメーカーは、特許、著作権、および機密事項に対して適用される、あらゆる法律上の防衛策を講じている。

これに対して、製品のセカンドソース (二次供給)を確保するために、チップのシリコン回路を製造するためのマスクの使用を、他社にライセンス

することもある。ライセンス供与やセカンドソース供与は、元の設計者がロイヤリティを得るために行われることもあるが、多くの場合は、ICを購入する側が、1つのソースからしか供給されない製品に対しては猜疑心を抱くことから、チップの生産量を増やすために行われる。セカンドソースは、労働力や製造上のトラブルから離れて、競争によるコスト削減を実現できる場合もある。Intelは Advanced Micro Devices や IBM に、多くの自社のチップの生産をライセンスしている。

■チップの識別とパッケージ

Intel の 8088 と 8086 は (プラグ互換の NEC V20 と V30 も同様)、デュアルインラインピン (DIP) パッケージに収められている。このエポキシプラスチック製の黒いパッケージは、縦約2インチ、横約0.5 インチの長方形で、足の少ないムカデのように、合計40本のピンがパッケージの長辺に沿って両側に並んでいる。パッケージの切り込みを上にして、チップを上から眺めた場合、1ピンは左上にある。Intel は、1 ピンの位置がすぐ分かるように、1 ピンのすぐそはに点のような印(くぼみ)を付けている。

Intel は、黒いプラスチックケースの上に白い文字で、自社のチップの名称などをシルクスクリーンで印刷している。大きな "i"の文字は Intel Corporation が製造元であることを示している。これに対し、Advanced Micro Devices は頭文字の "AMD"を自社のチップのマークとしている。Intelのチップでは、チップのラベルの一番上の行はチップの名称を示し、チップ名は多くの場合 "P"の文字で始まっている。

■速度定格

8088 と8086 は、5MHz および 8MHz の2種類の速度定格のものがある。モデル名だけのもの(8088 など)は低速仕様で、モデル名に"-2"が付いたものは高速仕様である。たとえば、「8088-2」は8MHz 仕様ということになる。

NECのマイクロプロセッサでは、チップ名に付いている数字が、そのチップの定格速度を表わしている。したがって、たとえば「V20-8」なら

8MHz 仕様ということになる。

チップ名の2行目には、そのチップが製造された週を含めた、コード化された製造情報が記されている。

80286ファミリー

1984年、「IBM PC/AT」の発表によって、人々 の注目は、Intel のマイクロプロセッサの新たな製 品に注がれることになった。すでに 1982 年に発表 されていた「80286」である。このチップの前世代 の製品である8086に比べると、80286はパーソナ ルコンピュータ用としてより優れたいくつかの特 徴を持っている。まず、16ビットの内部レジスタ を持った、フル16ビットのデータバスを採用して いる点がその1つである。また、より高速な動作 を目指して設計されており、最初は6MHzだった 速度定格は、すぐに 8MHz、10MHz と向上して いった。最終的には 12.5MHz、16MHz、20MHz で動作するバージョンも供給されるようになった。 さらに、このクロックスピードの高速化に合わせ て、機能もより高度になり、高速化だけに留まら ない、優れた性能を有するに至った。たとえば、 最初のATの動作速度は、初代PCの25%増であ るが、後にはおよそ5倍のスループットを達成し ている。

■ 16M バイトのメモリ容量

しかし結局のところ、80286 において最も重要なのは、その優れたメモリ処理能力であった。8088/8086 はアドレスラインを 20 本持っていたが、80286 ではこれが 24 本になった。この増加した4本のアドレスラインによって、チップがアドレスできるメモリの最大容量は 15M バイト増加し、合計16M バイトになった。

■仮想メモリ

また、80286では仮想メモリが使用できようになった。仮想メモリは、その名が示すとおり、実際の物理メモリのチップでできているわけではない。仮想メモリは、正確には大容量記憶装置の一部であり、ここに格納された情報は、必要なときに物理メモリに転送できるようになっている。80286には、

物理メモリと仮想メモリのデータを識別する特別な機構を備えているが、交換するデータの転送(スワップ)を実際に処理する回路が別途必要になる。チップは 16M バイトの物理メモリと 1,008M バイトの仮想メモリの、合計 1G バイト(1,024M バイト=約10億バイト)まで操作することができる。

理論的には、80286 の強化されたメモリ処理能力によって、Intel の初期のマイクロプロセッサが超えられなかった、1M バイトのアドレッシング範囲の壁は過去のものとなったが、この改良は現実的で実用に即したものとは認められなかった。

その理由のひとつは、互換性の問題であり、もうひとつは慣例の問題である。80286の市場投入の準備ができる前に、IBM PCの成功はすでに確実になっていた。また、ソフトウェアの確固たる基礎は、8088と8086用として構築されていた。そのソフトウェアを使用しないことには、改良チップの受け入れは促進されなかったのである。

■リアルモード

古いチップとの互換性を維持するために、80286には「リアルモード」と「プロテクトモード」という2つの動作モードが与えられた。リアルモードは8086の動作をほぼ正確にコピーして設計された。互換性を持たせるために、かなり忠実にコピーされたため、メモリの1Mバイトの制限をはじめとする、8086を使用する際のすべての制限が、リアルモードにも引き継がれることになってしまった。メモリアドレスの認識を8086とまったく同じにするには、この制限が不可欠だからである。

■プロテクトモード

80286 アーキテクチャで強化されたメモリ処理能力を利用するために、Intel はプロテクトモードというものを考え出した。プロテクトモードは、既存の8086 のプログラムとの互換性はないが、このモードを使えば、特別に書かれたプログラムなら、16M バイトの物理メモリと、1G バイトの仮想メモリのすべてを利用できるようになる。

8086 よりさらに高速に動作し、より多くのメモリを扱うことができた 80286 は、大きな成功を収めた。ただし、プロテクトモードがプログラマの

支持を得られるようになったのは、しばらく後のことである。AT が発表されてから、IBM に採用されたプロテクトモード用オペレーティングシステムである「OS/2」が供給されるまでの間に、ほぼ 3 年の月日が流れた。

■80286の欠点

プロテクトモードがなかなかサポートされなかっ たのには、2つの理由がある。ひとつは、DOSの 制約のもとでプログラムを書かなければならない プログラマにとって、リアルモードとプロテクト モードの切り換えは大きな問題だったからだ。Intel は、いったん 16M バイトを享受してしまったら、 誰も貧弱なメモリ容量に戻りたいとは思わないだ ろうと考え、この切り換えを一方通行にすること にした。80286はリアルモードからプロテクトモー ドへのギアチェンジは簡単だったが、シフトダウ ンは不可能だった (チップは最初はリアルモード で動作を開始するため、シフトアップは常に必要 だった)。プロテクトモードに入ったあとで、リア ルモード制御に戻る唯一の方法は、マイクロプロ セッサをリセットすること、つまり、コンピュー タをリブートすることである。

もう1つの理由は、プロテクトモードは、プログラマの夢を部分的に実現したにすぎないということだ。たしかに、プロテクトモードによって、使用できるメモリの容量は多くなったが、64Kバイトのセグメントで動作する点には変わりはなかった。ソフトウェアのプログラマには、自由に飛び回ることができる広いグランドの代わりに、無数の小さな箱が与えられ、そのあいだでデータを行き来させなければならなかったのである。

386DX

DOS を超えた素晴らしい新世界を、表面上でしか実現できなかった 80286 とは異なり、Intel の次世代マイクロプロセッサは、DOS とその上に構築された 160 億ドルのソフトウェアライブラリにまでその力を広げた。

1985年に発表された「386」は、80286で得られた厳しい教訓を踏まえ、プログラマたちの要求と

夢とを実現させた。386 は、これまでの Intel のマイクロプロセッサ以上の速度、性能、汎用性をもたらすものであった。8088 や8086、80286 でできることは386 でもほぼ完全に実現可能で、性能とパワーの点では、これらのチップを大きく超えていた。

それまでは、頭に思い描かれていただけだった 進歩が、386によって現実のものとなったたため、 80286は低速で欠陥の多い失敗作のように見える。 かつての Intel の社員の中には、80286の欠点を、 8086よりも早い時期に設計がスタートした結果と して片付けてしまう者もいた。本来、80286には 8080の後継チップという基本コンセプトが与えら れていたのに、開発の途中で、あまりにも多くの 野心を試みてしまったせいかもしれない。8086は 設計目標を再評価するところから生まれた。80286 は、製品の元となるアイデアがそもそも古かった のだ。

80286とは対照的に、386(ここでは下位製品の386SXとは区別して、386DXのことを指す)は、パーソナルコンピュータおよびマイクロプロセッサの市場を十分意識して開発された。このため、386には、Intel製のほかのプロセッサのセールスポイントをすべて備えさせる必要があった。たとえば、386のインストラクションセットは80286のスーパーセットになっており、どんなに古いソフトウェアでも問題なく走る。それだけでなく、386は新しい機能も装備していなければならない。それは人々に受け入れられるだけでなく、セグメントメモリという足かせを持たないほかのメーカーのマイクロプロセッサから、エンジニアを引き寄せるだけの魅力がなければならなかった。

■ 32 ビットの処理能力

まず第一に、386 は純粋な処理能力という点で 飛躍的に前進した。レジスタのサイズとデータバ スの幅は、以前のマイクロプロセッサの 2 倍の 32 ビットになっている。80286 などの 16 ビットチッ プの 2 倍の速さで、データをチップに取り込み、 処理することができた。

■クロックの高速化

386 は当初から、AT 互換機の速度戦争から一歩抜きんでる高速チップとなるべく設計されていた。ちょうど、80286 の生産が中止されるのと入れ代わりに、"CHMOS"と呼ばれる半導体テクノロジーを使用した 386 チップが初めて市場に投入された。まず、12.5MHz と 16MHz の 2 種類の定格の 386 が供給されたが、前者は、高速化を追い求めるコンピュータの設計者からは、ほとんど相手にされなかった。その後まもなく、20MHz バージョンのものも発売されるようになり、1988 年には、25MHz、続いて 33MHz と高速化されていった。現在、動作速度が 40MHz と 50MHz の 386チップ搭載マシンが、いくつかのコンピュータメーカーから発売されている。

■温度制限

一部のコンピュータメーカーでは、しばしば、チップメーカーの定格を超えた速度でチップを動作させることが行われている。速度定格の異なるチップの間でも、設計上の差異はほとんどないため、こういうことができるのだが、そこには大きな問題が1つある。論理思考(演算)が行われるたびに、デジタル回路のスイッチング動作が起こるので、動作が高速になれば発生する熱量も増えることは、前述のとおりだ。低電力のCMOS回路でさえ、デジタル式の切り換えが起こるときには、チップを熱するほどの大きな電流を必要とする。高速動作には、一定期間に多くの電流が急激に流れ、チップが加熱するという弊害が伴うのである。

熱は半導体回路の最大の敵である。熱によって 半導体回路の信頼性は損なわれ、場合によっては、 回路自体が破壊されることもある。実際、クロッ ク速度をわずかに上げるだけで、チップの温度は 驚くほど上昇する。速度定格を超えてマイクロプ ロセッサを動作させると、信頼性が低下したり、 場合によっては復帰不可能な損傷を受けることも あるので注意が必要だ。この意味では、ヒートシ ンクは、熱を放射させることによって、チップの 冷却を助けると同時に、高速動作時の信頼性の向 上に役立つといえよう。

■メモリアーキテクチャの改良

386 では、データバスの 32 ビットへの拡張を完全にするために、アドレスラインの数も 32 本に増やされ、この拡張だけで、最大 4G バイトの物理メモリに直接アドレスできるようになっている。さらにこれに加え、仮想メモリは最大 16T バイト(1T バイト=約1兆バイト)まで扱うことができる。386 は、物理メモリと仮想メモリのすべてを管理するのに十分な機構を内部に持っているのだ。

386における目ざましい進歩は、メモリの構成 方法である。メモリはすべて、1つの連続したセク ションとしてアドレス指定ができるため、プログ ラムやデータの構造は、チップの全記憶容量と同 じ大きさにできる。このメモリ構造は、セグメン トメモリとは違って、プログラムにとっては、広 大で自由な大草原のようなものといえる。

このメモリは、セグメントに分割することも可能で、分割するかどうかは選択できるようになっている。しかも、セグメント長は 64K バイトに制限されていない。プログラム (またはプログラマ)にとって都合のよい大きさにすることができる (物理メモリの限界である 4G バイト以下ならば、実質的なセグメントの制限はないことになる)。

さらに、386には16バイトのプリフェッチキャッシュメモリが組み込まれている。この特殊なオンチップのメモリエリアは、チップが実行しているプログラムの、次のインストラクションを記憶する場所である。つまり、チップの演算処理とは無関係に、実際に必要になる前に、特殊な回路がソフトウェアのコードをこのメモリヘロードするのである。この小さなキャッシュのおかげで、システムメモリからコードを検索する際の待機時間が少なくてすみ、386はよりスムーズに動作できるようになっている。

■マルチモード

以前のマイクロプロセッサ、および DOS プログラムのライブラリとの互換性を維持するために、386 は、可能な限り 8086 や80286 と互換性を持つように設計されている。したがって、これらのプロセッサと同様に、386 には、IM バイトのアドレッシング範囲の制限を持つリアルモードがあり、

互換性のために 386 はこのモードでブートし動作する。

また、リアルモードからプロテクトモードへの切り換え可能な点も同じで、プロテクトモードでは、286 に比べて自由になるメモリ容量が多く、セグメントサイズが変更できるために操作に柔軟性があるという点を除けば、働きは80286 とまったく同じである。80286 と異なるのは、386 では、モードの切り替えにリセットは必要なく、ソフトウェアの簡単なコマンドで切り替えられる点である。

■ DOS の適合性

仮想 8086 モードと呼ばれる新しいモードによって、386 は DOS プログラムを走らせる際に、特別な自由を与えられている。このモードでは、386がシミュレートする 8086 の数は 1 個だけではない。ほとんど無限といってよい数の 8086 を、同時にシミュレートするのである。このモードによって、386マイクロプロセッサは自分のメモリを分割して、8086マイクロプロセッサを搭載した、完全に独立したコンピュータのように動作する仮想コンピュータを、何台も作り出すことができる。

それぞれの仮想コンピュータは、ほかの仮想コンピュータから完全に独立しており、それぞれが別のプログラムを走らせることができる。これは、複数のDOSプログラムを、1台の386コンピュータで同時に動かせるということだ。この種のマルチタスク(1台のコンピュータで、2つ以上の異なる処理を同時に実行すること)は、386の独特なアーキテクチャがなくても可能だが、そういうシステムのほとんどは、複雑であるか信頼性が低いかのどちらかである。さらに、マルチタスク操作を実行するためには、ソフトウェアはそのマシン固有の基準に従って書かれていなければならない。一方、386では、複雑な処理はすべてハードウェアで行われるため、マルチタスクを制御するソフトウェアの重要性は低く、一般に発売されている

DOS プログラムは、ほとんどの 386 ベースのマル チタスク環境で修正なしで動作する。

■最初の失敗

386 は、ほかのマイクロプロセッサよりも厳しい産みの苦しみを経験した。最初のリリース直後には、早くも、32 ビットの数値演算を実行する際に演算ミスを引き起こす設計エラーが見つかった。 実際には、このチップを使った最初の PC 互換機では、DOS が 16 ビット動作であったため、この問題は発見されず、ソフトウェアが 386 の 32 ビットモードを使うときだけ、無作為にエラーが発生した。

このエラーは発見が早く、すぐに修正されたため、1987年4月以降に製造された386チップではこの問題は発生しない。修正後に製造されたチップには、Intelによってダブルシグマの記号が付けられている(図 3-1参照)。ユーザーへ出荷される前にリコールされた初期のチップは、当然トラブルを発生する可能性があり、これらの一部(全部ではない)は、Intelによって、16-bit Operations Onlyの文字が印字されて出荷されている。このチップはすべて、16ビットバージョンのDOS(バージョン5.0以前)か、最初にリリースされたOS/2(バージョン1.0および1.1)で、32ビットの演算を使用していないものであれば、問題なく動作する。

Intel は、「Intel Inboard 386」(現在は製造中止)や「Snap In 386」のような、"PCエンハンスメントオペレーション"(アップグレード戦略)で製造された製品以外は、エンドユーザーに対する直接のサポートは行っていない。このようなピギーバックの386は、286ベースのコンピュータと交換できる。これ以外の製品との交換は、その製品を売っている販売店で行うことになっている。もし、Intel が製造した386ベースのコンピュータに、例の不良チップが搭載されてたら、販売店に連絡して交換してもらったほうがよいだろう。

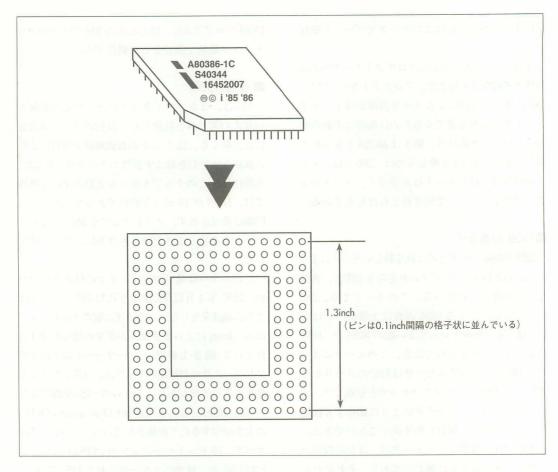


図 3-1 ピングリッドアレイソケット (PGA チップ搭載用)

386SX

386 アーキテクチャの価値は、このチップに人々が何を求めるかによって、おおよそが決まる。そして、実際多くの人が求めるのは高速性である。人々はうなりをあげて高速に演算が実行されるのを望んでおり、このためにかかる余分な費用は二の次である。こういう人のために、386 の設計においては32 ビットの処理能力が基本になっている。

しかし、長所はそれだけではい。386 のマルチューザー、マルチタスク機能は、これらを利用したい人々にとって、大いなる魅力になっている。このようなユーザーにとって、仮想8086 モードは、386 のチップの中で最も価値のある部分であり、扱えるメモリ容量が大きい点は、このチップをさらに価値あるものにしている。386 のスピードは現

行と変わらないが、386 チップが、DOS や OS/2 のような標準の16 ビットソフトウェアに適度な性能の向上をもたらすことを考えれば、マルチタスクを求めるユーザーにとっては、そのようなことは問題にはならない。

■究極の折衷策

Intel は、まさにこういうユーザーに向けて、最終的な折衷策として、386DX をスケールダウンしたチップ「386SX」を作った。386SX は 386DX より性能は落ちるが、機能は維持している。安価な 8 ビットの部品をもっと使用できるようにという意図で、8086 から 8086 が派生したのと同様に、386SX は 386DX の妹として作られた。そして、8088 のエポキシケースの中身が、実は 8086 に似せた 16

ビットチップであったのと同じように、386SX は、 内部的には 386DX と同様で、フル 32 ビットレジ スタと、同じ操作モードを持っている。

386SX と 386DX には、大きな点では 2 つの違いしかない。1 つは、386DX が 32 ビットメモリバスに対応するインターフェースになっているのに対し、386SX は 16 ビットバス用に設計されている点である。このため、386SX の 32 ビットレジスタにデータを置くには、16 ビット入出力チャネルを通して、2 段階のステップを経なければならない。もう 1 つの相違点は、386SX はメーカーにとって低価格であるという点だ。ただしこれは、今日の市場で顕著に表われているだけで、実際は、386DXチップと 386SX チップの価格については、少なくともコストだけで比較した場合には、386SX のみが採用されて普及していくことのないように、コスト差が小さくなるように配慮されている。

しかし、386SX は決して怠け者ではない。最初のバージョンは 16MHz で動作していた。これは、最初に普及した 80286 が 8MHz で動作していたのに比べれば、2 倍の速さである。16 ビットの入出力チャネルにもかかわらず、386SX が同等の速度仕様の 80286 よりも高速で動作できるのは、チップ内に入ったインストラクションは、286 の 2 倍の速度で処理できるからである (1 回の処理は 16 ビットではなく 32 ビット単位である)。

さらに、386SX は 386DX と同じ 32 ビットのインストラクションが理解できる。そして DX 同様 SX も、Intel の以前のマイクロプロセッサの 16 ビットおよび 8 ビットのインストラクションの上位互換である。

■ 386SX が登場するまで

386SX は、1988 年 6 月の発表のかなり以前から、コンピュータ業界の中では "P9"というコードネームで話題になっていた。Intel が 386SX という名称に決めたのは、386DX マイクロプロセッサが獲得した圧倒的に有利な評判を利用したかったからだろう。

P9 はしばらくの間、80286 とプラグ互換のアップグレード版になるのでは、と噂されていた。理論的には、古いチップを P9 に換えて、386 パワー

を実現することは可能だろうが、実際の 386SX の 最終設計では、この単純な置き換えはできないよ うになっている。

■異なるパッケージ

386SX と80286 は、まったく異なるパッケージに入っているため、同一のソケットに差し込むことはできない。これはおもに、80286 では、リード線の数を減らすためにバスの接続をマルチプレックスにしたのに対し、386SX はマルチプレックスを採用していないからである。結果として、386SXでは80286 よりも簡単なインターフェース回路があればよく、このため、ローコストのコンピュータでは進んで386SX が採用されることになった。

■将来の展開

Intel は、80286 ベースのマシンから 386 マシンへのアップグレードを促進する、「Snap In 386」と呼ばれるピギーバックカードを発売した。Snap In 386 は 80286 のソケットに接続して、既存のコンピュータに 386 の機能を追加する安価な手段だった。

その一方では、386SX は80286 よりチップ自体の価格がわずかに高いうえ、定格速度で動作させる場合は、高速で高価なメモリが必要である。このため一般に、386SX をベースにしたコンピュータの価格は、80286 ベースのものよりも高い。しかしそれでも、386 アーキテクチャの高い人気と、80286 マイクロプロセッサが終焉を迎えつつあったことを考えれば、ユーザーにとって、386SX は新たな掘り出し物として適切な選択対象といえよう。さらに、386の機能を必要とするソフトウェアがますます多くなるにしたがって、386SX は一層魅力的なものとなり、反対に80286 は廃れていく宿命にある。したがって、将来のことを考えるなら、386SX 搭載のマシンを購入すべきだろう。80286を使っていても取り残されていくだけである。

386SL

SLシリーズのチップは、ローパワーでポータブ ルタイプのアプリケーション用に設計されている。 386SLシリーズのチップは、基本的には、386DX 互換のマイクロプロセッサである。SLのチップにはパワーマネージメント回路があるため、標準よりも低い電圧で動作し、基本的には従来のチップより消費電力が少ない。386SLのモデルの中には、二重の内部パワープレーンを持っていて、5Vまたは3Vのどちらの電圧でも動作可能なものもある。このチップは、従来どおりの5Vシステムでも、ローパワーのポータブルタイプあるいはラップトップタイプの設計でも使用することができる。Intelが発売している4種の386SLチップは次のとおりである。

- ●5V、20/25MHz、キャッシュ付き
- ●5V、16/20/25MHz、キャッシュなし
- ●3.3V、20MHz、キャッシュ付き
- ●3.3V、16/20MHz、キャッシュなし

SLのチップセットには、設計者が柔軟にカス タムシステムを設計できるような追加機能が含ま れている。たとえば、SL CPUは、オプションの フラッシュメモリディスクをサポートしている。 "フラッシュメモリ"とは、不揮発性リード/ライ ト RAM を指す Intel の用語である。フラッシュ メモリは従来の RAM よりもかなり遅く、特殊な インターフェース接続を必要とするが、SLチップ を使用すれば、標準の ISA データバスドライブと して、最大16Mバイトのフラッシュディスクメモ りを搭載することが可能になる。このメモリディ スクは、ポータブルマシンやラップトップマシン で最も有効に活用できる。フロッピーベースのマ シンなら、従来の磁気ハードドライブの代わりに 16M バイトフラッシュディスクを搭載して、電力 消費量を節約し、外形サイズを縮小することが可 能になるのだ。

SL チップには新たに、"システムマネージメントインタラプト"(SMI)と呼ばれる、マスク不能型割り込みが追加されている。これは Intel が「IdeaPort」と呼んでいるものの制御に使用される。これと一緒に使用される "レジュームインストラクション"(RSM)は、様々な入出力ピンを、ユーザーからは見えない形で制御するために、SMI 割り込みと共に使用される。たとえば、この機構を

使えば、活動していない周辺デバイスに停止信号を送るなど、SLチップのパワーマネージメント機能を高めることが可能になる。SMIインストラクションは、ロード可能なデバイスドライバの中や、システムのBIOSコードの中に含めることができる。こうすれば、オペレーティングシステムの修正は必要なく、実際、オペレーティングシステムから隠された形で、SMIインストラクション操作をすることが可能だ。

SLシリーズチップのクロックの最高速度は 25MHz だが、電力を節約するために、特定の操 作時にはこれを遅くすることができる。

チップの動作速度が速くなるに従い、消費する電流も多くなるということを思い出して欲しい。ラップトップやノートパソコンのような、電力の条件が厳しい用途では、キーボードからのデータエントリのように、スピードを必要としな操作の間は、クロックデバイダー機能(2分の1、4分の1、8分の1が可能)によって、プロセッサの動作速度を低減することができる。その後で、演算かI/Oの動作が実行されるときに、プロセッサをもとの最高速度に戻すのである。この機能は、SLシリーズチップの特徴であるパワーマネージメント機能の1つである。

386SL チップでは、バッテリの容量が少なくなった場合、システムをシャットダウンするために、3種類のバッテリアラームが使用できる。また、バッテリの残量がいよいよ差し迫った状態であることや、システム停止をユーザーに警告するために、そのバッテリ警告入力によって警告音をスピーカから発することもできる。

SLチップのパワーマネージメント機能については、486SLの項で詳しく触れる。

386SLC

SLC シリーズのチップは、現在のチップテクノロジーにおける、最も興味深い存在のひとつだ。IBM は、現行の386 チップおよびそれらの上で走るプログラムを研究し、その結果データを用いて、IBM PS/2 マシンや、サードパーティーメーカーに OEM 供給するサブシステム専用のカスタムチップ、「386SLC」を設計した。386SLCは、Intel の

386SX とピン互換である。このチップは IBM で設計され、Intel で製造されたため、IBM と Intel との契約に基づき、IBM で製造したコンピュータやサブシステムの中に組み入れた形でしか販売されない。

386SLC は現在、IBM の PS/2 の「モデル 56 SLC」および「モデル 57 SLC」に標準搭載されて供給されている。また IBM は、SX ベースの PS/2 コンピュータについて、386SLC を使ったアップグレードオプションを提供している。IBM によれば、386SLC にアップグレードすれば、いくつかのアプリケーションで、最高 88%の性能アップを実現できるそうである。

SLC チップ (実際には、IBM がほかのメーカーにこの技術をライセンス供与しているため、同じものが別の名称でも発売されている) は、多数のシステムで採用され始めたようだが、これは当然のことだろう。SLC 設計は Intel のチップの良い機能を取り入れ、IBM 独自の改良を加えたものなのだから。

基本的には、386SLC は 386SX のキャッシュ付きローパワー版チップである("SLC"の名称はこれに由来する。つまり S=SX、L=Low、C=Cache)。SLC のチップは、8K バイトのオンボードキャッシュ (486 チップに標準装備されているキャッシュと同じもの)を組み込んでおり、また、Intel の SL シリーズチップで使われている 5V のローパワーテクノロジーを採用している。さらに、これらのチップには 486SX のインストラクションセットがすべて含まれている。

バススヌーピング機能は、チップの内部キャッシュのデータと外部メモリのデータが、完全に同一であることを保証するものである。バススヌーパーは、キャッシュ内のデータに連動するアドレス範囲について、バスのアドレスラインを監視することで動作する。ほかのデバイスが、このアドレス範囲のどこかに書き込みを行うと、キャッシュデータとメインメモリのデータが違うという合図が送られる。この状態で、その位置のデータが要求された場合には、キャッシュに保持されている情報ではなく、メインメモリのデータを使うようにする。

386SLCには、これ以外にも改良も加えられている。IBMは、一般的なソフトウェアアプリケーションが使用する、数百万に及ぶインストラクションを分析することで、インストラクションの中でも使用頻度が高いものがあることを測定し、割り出した。SLCチップでは、これらの使用頻度の高いインストラクションの実行クロックサイクルを減らして、インストラクションの改良や最適化が行われている。つまり、使用頻度の最も高いインストラクションは、標準的な386SXや486SXチップに比べると、SLCチップのほうが処理速度が速いのだ。

IBMによれば、同じクロックスピードで動作している従来の386SXチップに比べて、386SLCチップは、オンチップキャッシュと最適化されたインストラクションセットにより、実際に約2倍の速さで動作するということである。さらに、SLCのテクノロジーで興味深い点は、1個のチップで16MHz、20MHz、25MHzの3種類のクロックで動作するように設計されていることである。たとえば、386SLC用に設計したデスクトップまたはラップトップマシンを、16MHzで動作させて周辺部品のコストを削減し、ローエンド版にすることができると同時に、そのまま同じチップを使って、25MHzで動作するフル機能装備のマシンを設計することもできるわけである。

また、SLC チップは非同期モード、つまり、プロセッサの内部速度が外部の部品と異なる状態で動作することができる(Intel の DX2 チップのように、386SLC だけが 2 倍クロックとなる)。これによって設計者は、価格の安い低速度の周辺部品を使いながら、内部の処理速度を最高にすることができる。つまり、この技術によって、さほどコストを上げることなく、コンピュータ全体の性能の向上が実現できるわけである。

■ 386 のパッケージ

386 は、80286 の 2 倍のデータラインと 25%多いアドレスラインを持っているため、必然的に多くの端子が必要になる。このため、132 本のピンを持つセラミックの PGA パッケージを使っている。このパッケージでは、ピンは中央から外側に

向かって大きくなる 3 つの正方形の形に沿って配列され、0.1 インチ間隔で 14×14 の格子状になっている。1 番ピンはケースの角が切られているコーナーに一番近いところにある。

■ 386 の速度定格

80286 のように、386 チップの速度定格も、チップのモデル名の後ろに付けられている。この数字は、チップの最大動作速度定格を MHz 単位で表わしたもので、たとえば、定格が 25MHz のチップは、「80386-25」となる。

386 系の中で、その独特な入出力構造のために、386SX だけは独特のパッケージを使用している。この場合でも、速度定格は80286 や386DX と同じ方法でチップに表示されおり、チップ名の後に続く数字が、定格速度を MHz で表わしたものということになる。

486 系

1989年に発表された当初は、486マイクロプロ セッサは 386 の改良版だった。Intel がこの最も強 力なチップを386系に分類しているのはこのため で、486は、386用のソフトウェアはすべて走るよ うになっている。しかし実際には、ソフトウェアか ら見ると、1個のフラグ、1個の例外処理、2ペー ジ分のテーブルのエントリビット、6個のインス トラクション、そして9個の制御レジスタビット が追加された点で、386とは異なっている。この 違いは大きいように思われるかもしれないが、386 用に設計されたプログラムは、どれもこの違いを 識別していないようだ。486のコマンドと制御は、 386のスーパーセットでしかない。486は386よ りも多少機能は拡張されているが、プログラムは、 486 チップが単に高速な 386 であるかのように動 作する。DOS アプリケーションを走らせる場合、 486 の追加機能は必要なく、未使用のままである。

386 と 486 の間のこの小さな違いは、286 から 386 への急激な変化とは大きく異なる。286 と 386 をソフトウェアの面で比較すると、386 には新たなオペレーションモードと、286 にはない高度なメモリマネージメント機能が追加されている点で、両者は性質上異なっている。一方、386 と 486 を比べ

ると、386の仮想 86 モードは、エンハンスドモードの Microsoft Windows や DESQview 386のような、マルチタスクのアプリケーションを走らせるときに必要になる。386 チップのメモリマネージメント機能は、従来の 640K バイトのアドレッシング範囲を超えて DOS の領域を広げるための手段である。486では 386が持つこれらの能力は維持されているが、これは、プログラムの互換性に影響を与える以外には何の役割もない。今後は386ベースのマシンと 486ベースのマシンのどちらでも走るプログラムが求められるだろう。

ハードウェアの点で 486 は、ソフトウェアレベルで 386 と互換性が取れるように、 386 の重要な基本機能を保持している。両者とも 3 つの操作モード(リアルモード、プロテクトモード、仮想 86 モード)と、フル 32 ビットのデータバスおよびアドレスバスを持っており、これらによって、最大 4G バイトのメモリに直接アドレスできるようになっている。 さらに両者とも、64T バイトまで拡張される仮想メモリをサポートしており、また、メモリを 4K バイトのページにリマップできるメモリマネージメントユニットを内蔵している。

しかし同時に、486のハードウェアは、386あるいはそれ以前の Intel アーキテクチャのマイクロプロセッサとは、実質的に異なっているともいえる。486に加えられた変更はすべて、最終的には高速化を実現するためのものであるが、その中でも最も重要なのは、合理化されたハードウェア設計と、より密度の高いシリコン設計によって、数値演算コプロセッサを搭載できるようになったということと、メモリキャッシュを内蔵していることである。

ハードウェア設計が合理化されるということは、同じクロックスピードで動作させた場合、486は386より速く思考できるということである。したがって、33MHzの486は同じ33MHzの386より高速である。

これに矛盾を感じる人は、インストラクションの処理が1クロックごとに進んでいると誤解している。初期のほとんどのマイクロプロセッサでは、1つのインストラクションを実行するのに、数クロックサイクル必要である。必要なクロックサイ

クル数はインストラクションによって異なり、1クロックサイクルしか必要ないインストラクションもあれば、数十クロックサイクル必要なものもある。486では内部設計が改良されたため、ほとんどのインストラクションで、必要なクロックサイクルの数が削減されている。486の最も一般的なインストラクションの多くは、クロックの1カウントで実行できる。

チップの大きさは、速度にとって悩みの種である。コンピュータ回路は高速化され、今や回路の性能の限界は、光の速度である(実際、電子やホールが半導体を移動するのにかかる時間は、光の速度よりは若干遅い程度である)。信号が長距離を移動しなければならない場合、高速性にも限界が出てくる。当然、演算は信号の動きより速く行うことはできないため、移動距離を短くすることが高速性へつながる。これに対し、1枚のシリコンへより多くの機能を集積すれば、信号は外部のサポートチップまで余分な距離を移動をする必要がなくなり、顕微鏡でしか見えないような範囲内の移動に留めることができる。さらに、信号が強制的にバッファ処理されることによって必然的に生じる遅れは、集積化で避けられる。

チップ内部では、大きさはもっと重要な影響力を持っている。論理回路の要素が大きくなれば、動作するときにより多くの電力が必要になる。今日のマイクロプロセッサには、"放熱"という根本的な制約があるため、速度にも限界がある。これに対し、回路が小さければ必要な電力量も少なく、したがって、発熱を抑えつつ高速で動作できる。

486 は、1 ミクロンの設計ルールの先駆けとなった。これは、チップにエッチングされる最も細かい単位が、直径 1 ミクロン (100 万分の 1 メートル)であるということだ。新しい 50 MHz の 486 は 0.8 ミクロン設計で、ここまで小さくなったおかげで、クロックスピードは 100 MHz まで速めることができる。

統計のプログラムやグラフィックスパッケージのように、数値演算を多く必要とするアプリケーションを持っている人は誰でも、数値演算コプロセッサがシステムの性能の向上に大いに役立つことを知っている。486 では、必要なコプロセッサ

回路(ほとんどが80387チップを完全にコピーしたものである)を、すべて同じ1枚のシリコンに組み込んでいる。コプロセッサがマイクロプロセッサに組み込まれたのは、便宜上の理由だけではない。486の内部コプロセッサは、386マイクロプロセッサと組み合わせて使用される387外部コプロセッサと比べると、同じクロック速度でも約2倍の性能を持っているのだ。

この性能の差を生み出す両者の違いは、プロセッサとコプロセッサ回路のあいだの接続が、間接か直接かということである。386 用のコプロセッサのコマンドとデータは、1個のチップから別のチップへ、プリント基板上を移動しなければならず、この過程がすべての遅延の原因である。一方、486の演算処理の場合は、同じインストラクションは、チップ表面の数ミクロンの距離を移動するだけである。結果として、各駅停車の代わりに急行列車に乗ったような差が出るのである。

動作速度が速くなるのに伴い、マイクロプロセッサは、DRAM (Dynamic Random Access Mem ory) の低速性という欠点に苦しむようになった。いくつかのシステムでは、マイクロプロセッサは、メモリが追いつくのを待つことに、全体の3分の1以上の時間を費やしている。486では、高速なメモリキャッシュをチップ内に内蔵させることによって、メモリによる減速の影響を最小限に抑えている。

486のキャッシュは、全体で8Kバイトの大きさを、2Kバイトずつのキャッシュ4個に分けるという、"4ウェイセットアソシエイティブ設計"で構成されている。この構成によって性能は大幅に向上し、複雑なアプリケーションでは特にそれが顕著に現れる。

内部キャッシュは、"ライトスルー"技術を利用している。この技術は、メモリによる減速分を補うのではなく、キャッシュとシステムメモリに保持されている内容が一致している状態を保つためのものである。メモリからの読み出しを要求されたとき、486マイクロプロセッサは最初にキャッシュを参照し、逆に書き込みを行うときは、キャッシュとシステムメモリの両方を同時に更新する。したがって、書き込みのプロセスは、システムメモリ

の書き込みが完了するのを待つぶん遅れてしまう。 市販のメモリチップと 486 を組み合わせて使用 する場合には、キャッシュは 8K バイトで十分だ が、これで最適な組み合わせを実現できるわけで はない。外部キャッシュがあれば、486 チップの性 能をさらに大幅に改良できる (Intel によれば、約 30%性能がアップする)。外部キャッシュの技術に ついては後述する。

486 マイクロプロセッサは当初、最高速度を66MHz として、様々な速度仕様のものがあったが、この速度定格は最終的には100MHz まで伸ばされる(後述の「486DX4」の項を参照)。チップの動作速度が速くなれば、そのクロックスピードに正比例して処理速度も速くなる。たとえば、50MHzの486 は、25MHzの486の2倍の速さで演算を行い、66MHzのチップは50MHzのチップの30%増のスピードを提供できる。「486DX2/50」や「486DX2/66」といったチップは、486DX-33のソケットの多くに、そのまま差し込んでアップグレードできるように設計されている。Intelは33MHzのコンピュータに、2種類の高速チップでアップグレードできるという特徴を与えたのである。

33MHzの386システムをアップグレードできるかどうかは、そのシステムの設計に大きく依存する。DX2/66は、50MHzのチップより30%程度高速であることを思い出してほしい。アップグレードが可能な33MHzのシステムのほとんどは、50MHz用に設計されている。66MHzバージョンにそのままアップグレードできるのは、マイクロプロセッサ以外のすべての回路が、増加分のスピードを扱えるように、十分な余裕を持った設計になっている場合に限られる。さらに、Intelの設計者によれば、66MHzチップではほぼ間違いなくヒートシンクが必要なるようで、現在使用している設計にヒートシンクがない場合は、ヒートシンクを追加しなければならないだろう。

プラスの面としては、66MHz チップは外部世界との通信を33MHz のままで行っているため、現行の部品は66MHz 用にしなくてもそのまま使用できるということである。ただし、このチップを発表したときにIntelは、そのほかのタイミン

グの違いは問題を生じるかもしれない、とただし 書きを付けている。

486 チップの機能をフルに発揮させた場合、486 ベースのコンピュータに唯一の対抗できるのは、 RISC ワークステーションだけである(ただしこれに ついては「Pentium」の項を参照のこと)。1秒あたり の実行インストラクション数(Million of Insutruc tions Per Second: MIPS) でコンピュータの速度 を測定した場合、486 は大抵の RISC コンピュー タにはけっして引けを取らない。486は33MHz で20VAX MIPS、50MHzで41VAX MIPSで、 これは最高速のものを除けば、すべての RISC エ ンジンと同等の値である。さらに、DOS で作業を する割合の大きい人は、486に固執したいだろう。 Intel アーキテクチャの CPU 以外には、DOS を走 らせるチップはないからである。特殊な RISC エ ンジンでしか動作しない特別なアプリケーション や、進んだオペレーティングシステムの使用を予 定している場合のみ、RISC の採用を検討すべき である。

486 チップは速度定格が異なるだけでなく、「486DX」および「486SX」の2つのモデルがある。DX チップは最初に発表されたチップで、前述の性能を向上させる機能が組み込まれている点で、486の最上位チップと考えればよいだろう。486SX は "486Lite"であり、DX チップから内蔵の数値演算コプロセッサを取り除いたチップである。この違いはチップの価格に現れており、実際に購入する際には大きな問題になる。

486SX

最初に考えられていたとおり、486SX は、486の性能が必要でも、コプロセッサは必要ない人々が求めるエンジンだった。このようなアプリケーションとして以前から注目されていたものに、たとえばネットワークサーバーがある。ネットワークサーバーで最も重要なのはレスポンスだが、データ処理の作業は単純である(ほとんどがデータを移動させるだけである)。浮動小数点の数値を高速に処理する必要はまったくない。486SX を採用すれば、必要のないコプロセッサの部分にかかる余分な費用を負担しなくても、486ファミリの高

速性能を手に入れることが可能なわけである。

DX チップの代替品として 486SX を使用する際には、完成された 486DX とまったく同じ速度仕様のチップであることが前提となるが、486SX では、20MHz と 25MHz のバージョンしか Intel から発売されていない。基本的には、486SX は 486ラインのローエンド版であり、古い 386 系のチップに代わるものとして Intel が作ったものである。

つまり、486SX は 486DX チップの代替品ではなく、386DX の代用品と考えるのが正しい。486SX は 386DX と同じ速度仕様のものが発売されており、かつ価格には競争力がある。また、内部効率のおかげで、同じクロックスピードで走らせても、386DX より 486SX のほうが速い。Intel によれば、両者を同一のクロックスピードで走らせてテストを行うと、いくつかのテストで、486SX は386DX の 2 倍の性能を発揮するということである。

性能以外の点(基本的にはクロックスピードと価格)で両チップがすべて同等であることを考えれば、386DXより486SXシステムを選ぶのが順当である。ただし現在では、価格が同じということはほとんどなく、たとえば、40MHzの386DXと20MHzの486SXがほとんど同じ価格で、486SXシステムの2倍のクロックスピードの386DXが買えることもある。その場合は、386DXのほうが割安ということになる。しかしながら、この比較も使うアプリケーションに依存している。いくつかの条件が揃えば、25MHzの486SXが33MHzの386DXを40%上回る性能を発揮することが、いくつかの実験で確認されている。

また、486SX にコプロセッサがないという点も、一生引きずらねばならない欠陥ではない。Intel は 486SX ベースのシステムで使用するコプロセッサ「487SX」を発売しており、これによってシステムは 完全なパワーを獲得することが可能になっている。

■ 486SL

Intelの「486SL」は、ラップトップタイプやポータブルタイプのコンピュータや、バッテリ駆動のアプリケーション用に設計された、486SXチップの低消費電力版である。このチップの初期のバージョンは、単に電源の使用を少なくする設計になっ

ていたが、その後のバージョンは、標準の5V仕様ではなく、3.3Vで動作する設計になっている。

さらに、SLチップはパワーマネージメント機能を内蔵しており、Intelによれば、このパワーマネージメント機能によって、標準のSXチップと比較して、バッテリの寿命を2倍にすることが可能ということである。パワーマネージメントシステムは、必要なときには電源を供給し、必要ないときには電源を停止するというものである。SLのパワーマネージメントテクノロジーは、たとえば、キーボードからデータが入力されているときは、内部モデムやハードドライブのような周辺装置は、電源を切ったり、スタンバイモードに移行させ、セーブコマンドが入力されると、データをセーブするためにハードドライブに電源を入れ、その後必要になるまで再び眠らせるといった方法をとっている。

一定時間キーボードなどすべてを使用しない場 合、パワーマネージメントはシステム全体をスタン バイモード(Intel では "サスペンドモード"と呼ん でいる) に移行させる。 サスペンドモードでは、コ ンピュータにはほとんど電流は流れないため、バッ テリの寿命を伸ばすことが可能だ。これ以外のサ スペンドモードの利点は、ラップトップやポータブ ルコンピュータでも、使用していないときに電源 を切る必要がないということである。サスペンド モードにすると、DOS や Windows など現在使用 中のアプリケーションはロードされたままなので、 再びコンピュータを使用するときには、すでに準 備が整っているわけである。パワーマネージメン トテクノロジーがないと、使わない時間が続いた ら、電力を節約するためにコンピュータの電源を いったん切り、再び使用するときに、システムを リブートして、いちいち必要なソフトウェアを再 ロードしなければならない。実はこのリブートし てソフトウェアをロードするということは、ハー ドディスクを回転させ、POST (Power On Self Test)を行うため、かなりの電力を必要とし、ラッ プトップやポータブルコンピュータでは大きな問 題なのである。これに対しサスペンド機能があれ ば、コンピュータは眠らせておいて、必要になっ たら起こせばよいので、電力の節約効果は大きい。

■ 486SLC2

386SLC と同様、「486SLC2」は IBM バージョンの 486SX チップである (SLC の詳細については、本章の 386SLC チップの項を参照のこと)。 386SLC と 486SLC2 の相違点は次のとおりである。

- 386SLC の 1 ミクロン設計に対し、486SLC2 は 0.7 ミクロンのテクノロジーを使用
- ●486SLC2 はクロック倍化回路を搭載 (Intel の DX2 チップと同じ)
- 486SLC2 は 3.3V のローパワー供給可能
- 486SLC2 は 386SLC のオンチップキャッシュを 16K に倍増

IBMは、自社の主要ラインのコンピュータのいくつかにSLCテクノロジーを採用しており、今後の設計でさらなる改良を加えることを約束している。IBMによれば、SLCの今後は、スピードアップおよびバス幅の拡張、キャッシュの拡張によって性能を向上させていく方針とのことである。同社はまた、低電圧、ローパワー仕様のものも計画しており、SLCテクノロジーを含むプロセッサアップグレード戦略に取りかかっている。

■ 倍クロック 486

少数のサードパーティーのアップグレードボード(これらのほとんどはインストールが難しく、高価で、さらに既存のソフトウェアとの互換性がかならずしも十分でない)を除けば、コンピュータを高速化したり操作性を向上させるために、アップグレードする方法はまったくなかった。後続のより高速なチップが既存の設計と互換性がなかったため、使用中の CPU を取り外して、新しい CPUを接続するというわけにはいかなかった。しかし、Intelの 486 系チップのリリースによってそれは変わった。

最近の 486 ベースのマザーボードはほとんど、Intel の高速 486DX2 チップと互換性があるソケットを使用している。本書を書いている時点では、「486DX2」は 50MHz と 66MHz の 2 つのモデルが供給されている。もしマザーボードに、DX2 チッ

プにアップグレードできるように設計された回路とソケットが搭載されていれば、33MHzの486チップを取り外して、新しいDX2モデルを差し込むだけでアップグレードは完了である。DX2/50チップ搭載で66MHzにアップグレード可能なコンピュータを購入すれば、その後でIntelが100MHzのDX2チップのリリースを決定したあかつきには(本書が書かれた時点では、検討中ではあるが正式には決定されていない)、再びさらに高速なマシンにアップグレードすることが可能だ。

あるいは、169 ピンの "オーバードライブ"ソケット、または "パフォーマンスエンハンスメント"ソケットを搭載したコンピュータの場合は、新しいオーバードライブチップを接続することができる。486SX ベースのシステムでは、このソケットは演算コプロセッサの 487SX 用に設計されたソケットと同じものである。オーバードライブチップは、基本的には DX2 チップのクロックダブリング回路をもつ、拡張版 486 マイクロプロセッサである。

オーバードライブソケットは、既存のプロセッサを取り外さずに、新しい高速 CPU を追加できるというものである。オーバードライブチップをパフォーマンスエンハンスメントソケットに差し込むと、現在使用中の CPU は無効になり、新しいチップが自動的にその後を引き継いでより高速に動作する。オーバードライブチップには、演算コプロセッサ回路が含まれているだけでなく、DX2の倍速技術も使用されている。つまり、オーバードライブチップは、内部的には 2 倍のシステムクロックスピードで動作するが、自分以外の部分とは、それまでと変わりなく、現在のシステムスピードでやりとりしているということである。

オーバードライブチップには2つのバージョンがある。1つは16MHzまたは20MHzのシステムをアップグレードするように設計されたもので、もう1つは25MHzシステム用のバージョンである。25MHzバージョンには、高速なCPUの動作によって発生した余分な熱の消散を助けるヒートシンクが付いている。オーバードライブは、エンドユーザー自身の手によるアップグレードを可能にするために考案されたものである。既存のCPUは取り外す必要がないため、CPUがマザーボード

にはんだづけされている場合でも、ユーザーは、マザーボード上のソケットに、そのまま新しいオーバードライブチップを差し込むだけで、コンピュータをアップグレードでき、より高速でより高い性能を手に入れることができるのだ。

DX2 およびオーバードライブチップは、両者とも CPU の内部処理をスピードアップしているが、外の世界とのやりとりは、そのままマザーボードの速度で行っている。たとえば、25MHz のシステムにインストールすれば、オーバードライブチップまたは DX2 チップは 50MHz で動作し、システムの残りの部分とは以前と変わらず 25MHz でデータ交換を行う。同様に、33MHz のシステムにインストールされた 66MHz の DX2 チップは、33MHz で外部コンピュータと通信する。この技術は、新しい高速チップとすでにコンピュータにインストールされている既存のシステムとの互換性を、最大限に保証しなければならないという理由によるものである。

アップグレードによって、既存のシステムのままで処理速度をスピードアップすることができるが、このようにアップグレードされたシステムは、最初がら50MHz や66MHz として設計されたものほどは、速くはないということを思い出してほしい。この理由は明らかだ。50MHz チップを33MHzのシステムに接続した場合、コンピュータのメモリ、BIOS、コントローラはもとのシステムの速度で動作しており、また、CPU はシステムの自分以外の部分ともとの速度でやりとりしているからである。

一方、完全な 50MHz または 66MHz のシステムでは、メモリはもちろんのこと、プロセッサと同じ速度仕様の部品が搭載されているが、最終的なスループット速度はアプリケーション次第とはいえ、基本的にはこれらの部品によって、速度に違いがでることを知っておかなければならない。しかし同時に、アプリケーションが I/O よりも演算中心である場合は特に、25MHz のシステムに搭載した 50MHz チップは、顕著な性能の改良を実現するだろう。

■ 486 のパッケージ

386 チップと同様に、486 プロセッサのパッケー

ジは、168 ピンのグリッド配列で、高速なチップ (特に 25MHz 以上で動作するもの) は、通常ヒートシンクを付けて冷却を促進している。

Pentium(586)ファミリー

本書の原書が出版された当時、Intel は、486の後継チップの最終試験を行う段階にあった。公式な情報はリリースされていなかったが、240ピンの拡張ソケットまたはオーバードライブソケットを搭載したハイエンドパーソナルコンピュータが、いくつかのメーカーで開発されていると同時に、Intel では当時「P5」というコードネームで呼ばれていたチップの開発に着手していた。P5 チップは240ピンの仕様で、240ピンのソケットを搭載した486パーソナルコンピュータなら、Pentiumにアップグレードできることになる。

Intel は、出荷前にチップの供給量を多量に確保 したいという基本的な理由から、当初の出荷予定 を1993 年初めまで遅らせた。

さらに Intel は、この新シリーズの名称の変更について、社内で検討を進めていた。このシリーズを「586」(現在の 486 ラインの次のチップという意味を表わしている)と呼ぶ代わりに、名称の中にいくつかの文字が入ったもの、あるいは全部を文字にしたものを検討していた。これは、チップの名称を自社独自のものとして、競合会社が同じ名称を使用できないように保護するためである。その結果、このチップの新しい名称は「Pentium」と決定された。これは、"586"の"5"を表わすギリシャ語の"pente"から作られた名前である。しかし、Intel が新しいチップにどのよう名前を付けても、この業界のエンドユーザーや開発者を含むかなりの部分は、出荷以降もある程度の期間は、恐らくこのチップを"586"と呼ぶだろう。

Pentium とは一体どんなものだろうか。まず第一に、このチップは 64 ビットのマイクロプロセッサで、内部キャッシュの容量は 486 チップ以上である。Pentium チップでは、486CPU のオンチップキャッシュを倍増し、インストラクションとデータ用にそれぞれ独立した 8K バイト、合計 16K バイトのキャッシュが搭載されている。このキャッシュメモリは、486 の"ライトスルー"方式とは異なり、

データ書き込み時の効率がより高い "ライトバック" 方式を採用している。

データバスは 64 ビットに倍増されているが、レジスタ長や、アドレスバスは 486 と同じく 32 ビットのままである。また、インストラクションセットも 486 の上位互換で、追加された命令はほとんどない。しかし、内部のアーキテクチャが大幅に変わっており、1 クロックサイクルで、最高 2 つのインストラクションを同時に実行できる "スーパースカラー"技術を採用したことで、同一クロックの 486DX に比べて約 2 倍の処理速度を達成している。

チップサイズは約 16 ミリ四方と大きく、0.8 ミクロン設計で、約 310 万個相当のトランジスタで構成される。最初に発表された Pentium には、60MHzと 66MHz で動作する 2 つのバージョンがあり、約 100MIPS の処理能力を有している。Intel は、1994年春には、早くも、Pentium の次期バージョンを発表した。90MHz、100MHz で動作する 2 種類のチップで、省電力機能の SL エンハンスメント機能を備え、動作電圧も 5V から 3.3V へ引き下げられた。この新しい Pentium チップは、0.6 ミクロンの設計が使われており、消費電力も大幅に削減されている。

486 ベースのコンピュータを持っているユーザーへの朗報は、Pentium の下位バージョンとして、内部のアーキテクチャが 64 ビットで、486 互換の32 ビット外部バス仕様のチップ「P24T」が設計されているということだ。この場合のアップグレードは、486CPU を取り外して、P24T チップをアダプタボードに接続するか、Pentium のソフトウェアが走り、かつ既存の 486 ハードウェアと互換の、縮小版 Pentium チップを搭載する方法が考えられる。また、いくつかの 486 コンピュータでは、すでに装備されているパフォーマンスエンハスメントソケットに、P24T 対応のソケット (240 ピンPGA ソケット)を搭載しているものもある。

Intelでは、さらに、150MHzの Pentium や、後述の「486DX4」を Pentium にアップグレードするオーバードライブプロセッサの発売も予定している。

DX4

486 ファミリーを強化するマイクロプロセッサとして、Intel は 1994 年春に、「DX4」を発表した。このチップは、登場が噂されていた時点で「486DX3」と呼ばれていたチップで、Pentiumの例に倣って、Intel は、チップの正式名称から「486」という数字の列を廃止した。

486DX2が、外部クロックの2倍の内部クロックで動作していたのに対して、DX4は外部クロックの最高3倍の内部クロックで動作する、486DXの高速バージョンである。当初の予想に反して、DX4は、従来の486DXの5V動作ではなく、0.6ミクロン設計で3.3V動作の構成で登場した。このため、DX4は486DXとのピン互換ではない。

DX4には、外部クロックの周波数と内部クロックの周波数に応じて、次のようなバージョンに分けられる。

- ●内部クロック 100MHz、外部クロック 50MHz(2 倍動作) または 33MHz (3 倍動作)
- ●内部クロック83MHz、外部クロック33MHz (2.5 倍動作)
- ●内部クロック 75MHz、外部クロック 25MHz(3 倍動作)

DX4 で強化されたのは、内部クロック周波数だけではない。Pentium と同様に、オンチップのキャッシュメモリが、486DX の 2 倍の 16K バイトに増やされているのである。ただし、このキャッシュメモリの方式は、486DX と同じ "ライトスルー"方式である。キャッシュメモリを増やしたことにより、DX4 は同一外部クロック (33MHz) の 486DXに比べて、50%の性能向上が達成された。

前述のとおり、DX4 は 3.3V で動作するため、既存の 486DX を使用するマザーボードとは互換性がない。しかし、電圧を変換する特殊な "ドータボード"を使うことで、486DX のマザーボードに DX4 を搭載することが可能になる。このようなドータボードは、すでにいくつかのメーカーから発売されているようだ。ただし、すべての 486DX マザーボードでこのドータボードが動作するかどうかは疑問である。将来 Intel から、5V で動作す

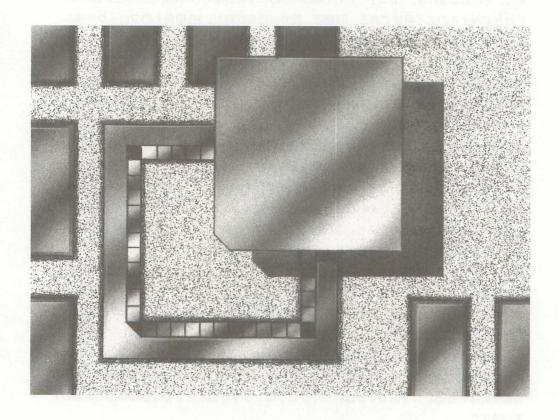
る DX4 アップグレードがリリースされる可能性 はあるが、ドータボードの形式になるのか、同一 パッケージに電圧変換器を含めたものになるかは、 現時点では分からない。 いずれにせよ、従来の Intel の実績を考えれば、 486 のパーソナルコンピュータユーザーへの DX4 アップグレードの道が開かれることは、間違いな いだろう。 phore appropriate the

THE PARTY CONTRACTOR AND ADDRESS.

HOLE THE PARTY OF THE PARTY OF

第4章

数値演算コプロセッサ



ほとんどのマイクロプロセッサは、様々な論理演算を行うように設計されている、"汎用プロセッサ"である。これに、**数値演算コプロセッサ**と呼ばれる特別なチップを追加すると、パーソナルコンピュータで実行される複雑な数値演算を、100 倍近く高速化することができる。Intel の初期のマイクロプロセッサには、それぞれ専用の数値演算コプロセッサがあったが、最近では、コプロセッサ機能はマイクロプロセッサのチップ上に統合されており、独立したコプロセッサは時代遅れのものになっている。

最初のマイクロプロセッサは、電卓用に設計されたものだが、このプロセッサにしても、その次の世代のプロセッサにしても、複雑な数値演算を高速で実行するようには設計されていなかった。そもそも、これらのマイクロプロセッサは、多くの機能を処理する設計になっており、複雑な数値演算はなおざりにされていた。これは、複雑な数値演算を行わなくても、すべての数値演算は、最終的には簡単な加算に還元できるからだ。たとえば、乗算は無数の加算を繰り返し、減算は加算の逆を行い、除算は割る数を逆数にして乗算を行えばよい。三角関数や平方根のような極めて複雑な数値演算でも、同様に加算の変形で実現できる。要するに、その気になれば、「レゴ」で1マイルの高さのビルでも建てられるのと同じだ。しかし、それを実践するのは不可能である。問題は、費やされる時間だ。10億個ものブロックを積み上げるには、我々が一生かかっても足りないほどの時間がかかるだろう。同様に、マイクロプロセッサの場合も、100万回の加算を使って乗算を行うには、100万個以上のステップが必要になる。マイクロプロセッサの速度をもってしても、各ステップの実行に相応の時間がかかることを考えれば、年老いて髪の毛が白くなるまで待つことはないにせよ、実際にそういう気分になっても不思議はない。

ほとんどのマイクロプロセッサは、数値演算の速度を上げるために、インストラクションのレパートリーに、加算以外の簡単な演算を組み入れている。しかし、あらゆる演算命令がすべて揃っているものは、ほとんどない。めったに使われないような演算が多すぎるため、それらをすべて組み入れるために、設計作業に余分な手間を掛けたり、シリコンの製造工程を複雑にする意味はないのである。このため、汎用マイクロプロセッサでは、複雑な数値演算の速度は、無視できないほど低下してしまう。

コプロセッサは、演算の高速化のために、マイクロプロセッサと一緒になって動作する、特別な集積回路である。なかでも、最もよく知られているのは、汎用マイクロプロセッサでは、そのコマンドセットから省かれている高度な数値演算を、高速に実行するように設計された数値演算コプロセッサである。ほかにも、特定の機能(たとえば、ディスプレイ画面への画像の表示など)を処理するのに最適化されたコプロセッサもある。コプロセッサは、特定の目的に合わせて設計されているため、普通の汎用マイクロプロセッサの何倍も速く、特定の機能を処理できる。コプロセッサは、マイクロプロセッサが苦手とする仕事の負担を軽減しているのだ。

このコンセプトは、マイクロプロセッサの処理能力に奇跡をもたらすかのように聞こえるが、数値演算コプロセッサによる恩恵は、パーソナルコンピュータの種類や、行う仕事の内容によって異なる。ある数値演算コプロセッサは、計算を劇的に加速することができるが、それは特定の計算に限られている。コプロセッサチップが、ごみ処理場の破砕機のように、

数値を "ばりばり" と処理できるとはいっても、パーソナルコンピュータを使用する作業のほとんどは、数値演算コプロセッサを使っても改善されない場合もあるのだ。これは、数値処理を多用する簿記処理などでも起こりうることである。

数値演算コプロセッサの市場に、様々なコプロセッサが次々と投入され、競争が激しくなるのと同時に、一方では、消えてゆく製品も多いという事実は、矛盾した話ではない。かつては、コプロセッサを選択しようにも、自分が使っているマシンで動くチップは1つに限られていたが、現在では、Cyrix Corporation、Integrated Information Techonology、Intel Corporation、ULSI、Weitek Corporation など、様々なベンダーのチップの中から選択することができる。今日では、ほとんどすべてのパーソナルコンピュータが、コプロセッサソケットを標準で備えているが、これらのベンダーは、このソケットに差し込むコプロセッサチップを供給している(もしくは、していた)。

これに対し Intel Corporation は、旨味の多いコプロセッサ市場から競争相手を排除するために、コプロセッサが将来的に必要になるか否かを予測不可能にするだけではなく、コプロセッサチップの必要性すらを完全になくす、という新しい戦略を立てた。Intel は、最初に (486 を導入することによって) コプロセッサを事実上時代遅れの存在にし、その後 (486SX とその数値演算コプロセッサによって) また復活させ、そして (OverDrive アップグレードチップによって) 再度その状態を無効にしたのである。

一方、コプロセッサチップが使えるコンピュータであっても、それを搭載することによって、かならずしも確実に性能が大きく向上するわけではない。そうならない場合もある。誰の言うことを信じ、どのソフトウェアを使っているかによって、できる、できないの判断は変わってくる。たとえば、数値演算コプロセッサメーカーが作ったベンチマークテストによれば、コプロセッサを搭載することによって、最高 100 倍まで性能を向上できるという結果が示されるが、実際、ほとんどのアプリケーションでは、数値演算コプロセッサから得られる恩恵は、ぼんやりとしか見えない Kahoutek 彗星のように捉えどころのないものである。普段使うプログラムのほとんどは速くならないし、また、多くのビジネスマンにとって、パーソナルコンピュータの使用目的である、大量の数字の処理 (スプレッドシート上での計算) でさえ、数値演算コプロセッサを使うことによる恩恵はほとんど現われない。統計、工学設計、グラフィックスなどのような、多数の計算を必要とする厄介な仕事に限れば、数値演算コプロセッサは確かに有効だが、それでも、それがもたらす性能向上の可能性は、チップメーカーの言う 100 倍などにはほど遠い。

これについて、数値演算コプロセッサが過大評価されているとか、役立たずであるとまではいえない。コプロセッサが有効な性質の仕事を抱えている場合なら、これほど少ない出費で性能を向上できる手段はないからである。今日では、基本的にコプロセッサはもはや必要とされていないが、(追加のチップにお金を払う必要があることを除けば)あっても何の不都合もないし、ハイエンドマシン市場においては、本来なくてはならないものである。現在、自分のコンピュータにコプロセッサがない人は、そのシステムにコプロセッサを追加するか、もしくはより高性能なシステムに移行するかのいずれかの形で、結局はコプロセッサを使うことになるだろう。

4.1 基本原理

コプロセッサのコンセプトは単純である。コプ ロセッサは、パーソナルコンピュータのマイクロ プロセッサと一組になって動作するだけである。 目標とするところは、「専門化」と「分業」によって 得られる性能の向上で、小規模な産業革命の電子 版といえよう。通常は汎用マイクロプロセッサに 任せられている特定のタスクを、コプロセッサが 担当することによって分業が行われ、これによっ て、メインチップから若干の負荷が軽減される。 それに加えて、コプロセッサは1つの特定のタス クを、可能な限り最大の効率で処理するように設 計された "スペシャリスト" であり、すべてのソフ トウェアのニーズを満たすことを諦める代わりに、 専門のタスクを最も効率的に実行できるように、 必要最小限な形にまでシェイプアップされている のである。

要するに、コプロセッサはマイクロプロセッサでありながら、汎用マイクロプロセッサとは異なり、特殊用途向けのデバイスなどのように、ある特定の機能に専念するプロセッサである。マイクロプロセッサに比べて、インストラクションのレパートリーがある程度限定されているため、コプロセッサは、自分の最も得意な分野の作業に専念することができるのだ。

マイクロプロセッサの一種であるコプロセッサは、ほかのすべてのマイクロプロセッサと同じように動作する。つまり、一連のインストラクションからなるプログラムを実行するだけである。しかし、メインのマイクロプロセッサとは異なり、直接マシンを制御することはできない。代わりに、動作に必要なプログラムインストラクションを送り、その結果を受け取ってくれる、メインのマイクロプロセッサにすがっているのだ。

通常の動作では、マイクロプロセッサが、コンピュータを動かすすべての機能を取り扱っているが、コプロセッサが処理するのに最適なタスクに出会うと、マイクロプロセッサは、データとインストラクションをコプロセッサに渡し、答えを辛

抱強く待つ。

コプロセッサは、メインのマイクロプロセッサとは別の、専用のインストラクションセットを持っている。したがって、プログラムはコプロセッサを使用するように、特別に書かれたものでなければならない。コプロセッサに作業を行わせたい場合には、特別なコプロセッサインストラクションが必要なのである。コプロセッサを使うように書かれていないプログラムでは、コプロセッサがあっても利用することはできない。

繰り返しになるが、コプロセッサは、それ単体ではコンピュータの性能を向上させることはできない。コプロセッサの速度や性能を利用するためには、コプロセッサインストラクションを組み込んで特別に書かれたプログラムが必要になる。コプロセッサを使うプログラムは、しばしば何倍もの速さで実行でき、その場合、「PC」から「AT」または「PS/2」に移行した場合と同程度のスピードの向上をもたらす。

コプロセッサは難しい問題が現れたからといって、自動的にそれを処理するわけではない。さらに、アプリケーションは、数値演算コプロセッサを使用するように書かれている必要があるだけでなく、特定のコプロセッサに適合していなければならない。アプリケーションが、使用するコプロセッサに適応したコプロセッサインストラクションを使っていなければ、数値演算コプロセッサは機能しない。

あるプログラムの実行時に、コプロセッサが有効に動作しているかどうかを確認するには、そのプログラムのメーカーが主張しているとおりの効果が、コプロセッサを使ったときの性能に表われているかどうかを調べるしかない。コプロセッサチップの有無による性能を違いを比較する以外に、コプロセッサが動作していることを簡単に確認する方法はない。

コプロセッサの仲間には、様々な目的に合わせ てに設計されたものがあるが、その中で最もよく 知られているのは、本章の主題でもあるマス・コプロセッサ (Math-Coprocessor) である。これは、数値演算コプロセッサとか、浮動小数点演算ユニット (FPU) とも呼ばれ、その名が示すように、数の操作を専門にしたコプロセッサである。多数桁の割り算、三角関数、平方根、対数など、高校生のときには悪夢とも思えた、あの複雑な関数を処理するように設計されている。これらの演算によって浮動小数点数が発生するが、これこそ、数値演算コプロセッサが処理するのを得意とする数値である。

浮動小数点とは、整数、有理数、実数などのような数学的に定義された数ではなく、値の表わし方を説明したものである。浮動小数点数において、小数点は、米国の通貨の単位(ドル)に2桁の小数(セント)があるような、固定したものではなく、事前に定義されている有効桁数の間を「浮動する」という基本性質がある。

数学的にいえば、浮動小数点数は3つの部分で構成されている。1つは符号で、これはある数がゼロより大きいか小さいかを示している。もう1つは、数学的に意味を持つすべての数字からなる有効数字(仮数と呼ばれることもある)である。そしてもう1つは、有効数字の大きさを規定する指数で、基本的には小数点が浮動する位置を表わしている。

浮動小数点数は、科学的な表記法で書かれた数値と同じように考えればよい。科学者は一般に 10 進数 (科学的表記法における指数は、10 の累乗である)を使うが、数値演算コプロセッサは、浮動小数点数を 2 進数 (2 の累乗を 0 と 1 だけで表わす)の形で処理する。浮動小数点数を使った複雑な数値演算を実行する場合でも、数値演算コプロセッサは、汎用マイクロプロセッサと同じように動作している。つまり、デジタル論理を使い、インストラクションを表わすビットパターンに従って、情報を表わすビットパターン (浮動小数点数)を処理するのである。こうした演算は、コプロセッサ内部の特別な記憶装置であるレジスタで行われる。

演算を行うにあたって、数値演算コプロセッサは、まず、操作対象である数の1つをレジスタにロードし、次に2番目の数を別のレジスタにロー

ドする。続いて、2つの数にどんな演算を行うかを、チップに指示するインストラクションを読み込む。読み込んだインストラクションによって、コプロセッサのチップ内で別の小さなプログラムが実行され、そのプログラムによって、コプロセッサの回路は要求された答えを実際に算出する。与えられたインストラクションの種類に応じて起動される、数値演算コプロセッサ内部のプログラムセットは、マイクロコードと呼ばれている。

結果が算出された後、コプロセッサから答えを 取り出すには、別のインストラクションを実行し なければならない。また、そのインストラクショ ンによって、以前の結果を使って、べつの演算を 数値演算コプロセッサに行わせる場合もある。

値のロード、インストラクションの読み込み、マ イクロコードの実行というように、汎用マイクロ プロセッサも、これとまったく同じように動作し ている。このため、数値演算コプロセッサは、特 定のコマンドを高速に実行することで、浮動小数 点数の処理速度の高速化をもたらす存在であると いえる。実際に、汎用マイクロプロセッサが理解 する基本コマンドは、効率よく処理されている。 数値演算コプロセッサのほとんど(すべてではな い)は、これらの頻繁に実行される動作を合理化 するのではなく、一連の長いステップを必要とす る、複雑な演算に専念するのだ。コプロセッサは、 すべてのステップを、高速に計算できる1つの演 算にまとめることによって、数値の取り扱いにお いて、マイクロプロセッサを凌ぐ力を持っている。 たとえば、汎用マイクロプロセッサに無理数の平 方根計算を行わせた場合、答えを得るまで簡単な インストラクションループを何百回も実行し、何 百回も整数演算を行う必要がある。これに対して コプロセッサは、同じ問題をたった1つのインス トラクションで解けるのである。

数値演算コプロセッサが扱っている複雑な数値 演算の命令を、すべてマイクロプロセッサに実行 させるように設計することは、もちろん可能だ。 Intel の 486 マイクロプロセッサは、まさにこのよ うな設計を行ったもので、プログラムには1個の 存在として認識されるが、内部では、汎用プロセッ サと浮動小数点演算ユニットの、2 つの部分に分か れている。コプロセッサが別個の要素として存在 しているのは、浮動小数点数計算の標準化の歴史 と、集積回路のテクノロジーの歴史に関係がある。

4.2 アドレス指定

コプロセッサは、メインのマイクロプロセッサとの共同作業を適切に行えるように、データを共用しなければならない。何らかの方法を使って、マイクロプロセッサは浮動小数点の問題をコプロセッサに渡し、コプロセッサはその答えをマイクロプロセッサに戻さなければならない。通信手段だけを考えれば、速達郵便からテレバシーまで、多種多様の選択肢があることは確かだが、現実的には2つの選択肢しかない。データが送受される入出力ポートを直接接続するか、メモリを介して、マイクロプロセッサと、データやインストラクションを交換するかのどちらかである。

前者の方式によるコプロセッサは、一般に I/Oマップコプロセッサと呼ばれ、後者はメモリマップコプロセッサと呼ばれている。2つのコプロセッサ設計の動作方法は、基本的に異なるため、プログラムコードは、それぞれの技術を使うように、別々に書かなければならない。Cyrix の「EMC87」だけは、I/Oマップとメモリマップの2つの動作モードを持っているが、それ以外のほとんどのコプロセッサは、どちらかの方法で動作している。

1/0マップコプロセッサ

I/Oマップ式設計では、マイクロプロセッサもコプロセッサも、パーソナルコンピュータの情報(プログラムインストラクションと対象データ)を運ぶデータラインに接続されている。通常、ほとんどのコンピュータプログラムでは、メインのマイクロプロセッサが、ほとんどすべてのインストラクションを実行するが、特定のインストラクションに限って、数値演算コプロセッサが直接実行するようになっている。

ある意味で、I/Oマップ設計の数値演算コプロセッサは、マイクロプロセッサに食い付いて生き

る蛭のようなものといえる。情報を見つけるための、アドレスラインを制御する回路を持っているのは、マイクロプロセッサだけであり、したがって、コプロセッサを適切に動作させるためには、マイクロプロセッサの動作に、コプロセッサを協調させる必要がある。2つのチップの動きは、ハードウェアによる直接接続(2つのチップを接続する配線)によって調整され、入出力ポートによって電気的に制御される。これらのポートは、それぞれのチップに内蔵されており、パーソナルコンピュータの周辺機器が使用する I/O ポートとは違って、ユーザーが直接アクセスすることはできない。

マイクロプロセッサもコプロセッサも、各自のレジスタ(ここですべての計算が行われる)と内部制御回路を持っている。それゆえ、2つのチップは相互に独立し、また同時に動作することができる。したがって、数値演算コプロセッサがある難しい問題と取り組んでいる間でも、マイクロプロセッサは別の作業を行うことができる。

理論的には、この設計によって、パーソナルコンピュータに、ある程度の並列処理の機能が加えられたことになるが、実際にはほとんど並列処理は行われていない。大抵のプログラムは、答えを算出するにあたって、数値演算コプロセッサを疾走させ、結果が出るまでの間は、マイクロプロセッサの方は待機するように書かれている。並列処理機能を利用しているのは、ごく少数のプログラムだけである。

メモリマップコプロセッサ

メモリマップコプロセッサは、プログラムやマイクロプロセッサとやりとりするために、メモリアドレスの一部をデータの置き場として使用する。システムのRAMの広大な領域の中のごく一部(一

般に 4K バイトページ) のアドレス範囲 (386 ベースのコンピュータの多くが物理メモリとして使用する、16M バイトの範囲よりも十分に上位だが、マイクロプロセッサの 4G バイトのアドレス可能範囲内)が、このやりとりのために確保される。マイクロプロセッサは、コプロセッサに実行させたいインストラクションを、このアドレス内のある部分に書き込む。コプロセッサからの結果も、同様の方法でマイクロプロセッサに伝えられる。実際には、これらのアドレスロケーションには RAMチップは割り当てられておらず、コマンドやデータを保持するメモリは、コプロセッサの回路の一部として組み込まれている。

メモリマップ設計では、コプロセッサチップが、マイクロプロセッサが使用しているアドレスラインへアクセスできることが前提になっている。これに対し、I/Oマップコプロセッサは、このようなアドレスの情報を必要としないため、I/Oマップチップ用に設計されたコプロセッサソケットには、アドレスラインは存在しない。メモリマップコプロセッサの場合は、アクセスする必要のあるアドレスラインを、すべて収容できるだけのピン数を持つ、大きなソケットが必要である。メモリマップコプロセッサ用の特別なソケットは、拡張数値演算コプロセッサ (Extended Math Coprocessor)インターフェイスを使用することから、EMCソケットと呼ばれている。

メモリマップコプロセッサは、アドレスデコードロジックが余分に必要なため、基本的には、I/Oマップチップよりも複雑である。したがって、設計、製造も難しく、同等の(そのようなものが仮にあるとしてだが)I/Oマップチップより一般に高くつく。

理論的には、メモリを介したコマンドやデータ の交換は、I/O 経由による交換よりも高速なため、 メモリマップコプロセッサは、I/Oマップチップ よりも高速に動作する。I/Oマップチップでは、 ひとつひとつが複数のクロックサイクルを要する いくつかの動作で、インストラクションやデータ を移動しなければならないのに対し、メモリマッ プチップでは、1回の動作ですべてのデータやイ ンストラクションを転送できるからだ。マイクロ プロセッサとコプロセッサの間で、データやアド レス情報を移動させるとき、両者でアドレスライ ンとデータラインを共有できるため、メモリマッ プコプロセッサは事実上、32 ビットマイクロプロ セッサとの間に、64ビットのリンクを持っている (マルチプレックスデータ転送により、32ビット のマイクロチャネルマシンが、64 ビットのデータ パスを持てるのと同じ)。さらに、情報がメモリ領 域にロードされた後は、メモリマップコプロセッ サは単独で動作する。これに対し、I/Oマップコ プロセッサの場合は、動作の手掛りになるものが もっと必要である。メインのマイクロプロセッサ は、最初にコプロセッサのインストラクションを 読み込み、次にデータを適切なポートに書き込ん でコプロセッサに与えてやらなければならない。

メモリマップコプロセッサの大きな欠点は、インターフェイスが標準化されていないことだ。メモリマップコプロセッサは、それぞれが専用のコマンドを持っており、独自のアドレス領域を使っている。メモリマップコプロセッサを使用するためには、プログラムはこれらの秘密を知っていなければならない。このため、メモリマップ数値演算コプロセッサは、自分自身に適合しているアプリケーションでなければ使用できないが、対応しているプログラムは少ないのが実情である。

4.3 Intelアーキテクチャ

Intel Corporation と、Intel 互換を目標としているメーカーが製造したすべてのコプロセッサ(つまり、8088から 486SX までの Intel マイクロプロセッサで動作するように設計されているチップ)は、多くの共通点を持っている。すべてが I/O マップ設計を使用している点もその1つであるが、もっと重要なのは、どのチップも、IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineering)の浮動小数点数仕様に準拠して、80 ビットのレジスタを使って動作する点である。この点で、コプロセッサは、8 ビット、16 ビット、32 ビット、64 ビットのレジスタしか持たないマイクロプロセッサを陵駕している。

レジスタのサイズが、8、16、32、64 ビットと、2の累乗で増えていくコンピュータの世界では、80 ビットという数字は、いささか中途半端な感じがするが、64 ビットで有効数字(仮数)を、15 ビットで指数を、残りの1 ビットで符号を保持できるため、レジスタとしてはまさに適当なサイズである。

ただし、Intelのコプロセッサ(および最新のマイクロプロセッサに組み込まれているコプロセッサ回路)のレジスタは、この単一なデータフォーマットに限定されていない。Intelのコプロセッサは、32、64、80ビットの各浮動小数点数、32、64ビットの整数、そして、18ビットの2進化10進数(BCD)を計算することができる(2進化10進数は、特別な4ビットデジタルコードを使って、10

進数の0~9までの各桁の数を表現しているにすぎない)。

Intelのコプロセッサチップは、演算に使われる 80 ビット長のレジスタを8つ持っている。プログラムのインストラクションは、数値演算コプロセッサに、どのようなフォーマットの数をどのように扱うかを知らせる。実際の違いは、計算が完了したときに、数値演算コプロセッサが、マイクロプロセッサに結果を渡すときの形式だけである。バイト単位でレジスタを切り分けて操作できる、Intelのマイクロプロセッサとは異なり、コプロセッサでは、すべての計算は、レジスタの80 ビットすべてを使って行われる。

Intelのコプロセッサにおける8つの80ビットレジスタは、アドレス指定の方式がマイクロプロセッサとは異なっている。マイクロプロセッサのレジスタを操作する個々のコマンドは、あたかもスイッチボードから送られてきたかのように、適切なレジスタに直接つなげられる。コプロセッサのレジスタは、スタック(一種のエレベータシステムのようなもの)に配列されている。値はスタックに送り出されるが、スタックでは新しい数が送られてくるたびに、古い数のレベルが1つ下がる。スタックマシンは、一般に貧弱なマシンと見なされているが、その設計は簡素かつ合理的であり、それが動作の高速化に役立っている。

4.4 数値演算の歴史

1970年代の中ごろ、現在知られているような数値演算コプロセッサは存在しなかった。いや、マイクロプロセッサすら存在していなかった。コンピュータといえば、メインフレームとミニコンピュータだけで、これらは浮動小数点数演算だけを行っていた。しかし、何とも奇妙なことに、複

雑な計算を試してみると、世界のコンピュータは すべて違った答えを出した。2と2を加えるとか、 任意の数の引き算ではこのような問題は出ないの だが、無理数を計算させ、無限桁の手に負えない 数値を、格納したり表記したりするのに都合のよ いように丸めた場合に、使用しているコンピュー タのメーカーやモデルによって、最後の数桁の小数が異なるのである。

もちろん、この問題の核心は、現在の数系では、 無理数は有限の桁数によって近似することしかで きないということにある。これに対し、すべての コンピュータおよびソフトウェア設計者は、それ ぞれが自分の好きな方法で(2 進、8 進、10 進など 最も手頃な基数を使い、いずれかの桁の小数を切 り捨てたり切り上げたりする)、この無理数の不 合理性に対処していたのである。

当然のことながら、特に科学者にとっては、自 分の計算結果がコンピュータによって変ってしま うことは問題である。彼らが、無理数の計算結果 に手を焼いて、理性を無くしてしまう前に、IEEE は、浮動小数点数計算の基準を作成するために、産 業委員会を組織した。このように、科学者やエン ジニアが、数に対して合理的にアプローチしよう としているときに、Intel は、自社のマイクロプロ セッサの設計に、非合理的なアプローチを採用し ていた。すでに、その方法によって8080と8085 チップは世に送り出され、同じ方法で後継チップの 開発も進行していたのである。Intel は、不合理性 に対処するために、次世代チップの開発の一環と して、IEEE 浮動小数点数規格に準拠したハード ウェア設計を行うことを決定した。その新しいマイ クロプロセッサは、IBM PC の基礎となった 8088 のすぐ前のチップである8086として誕生した。

この決定は、パーソナルコンピュータのプログラムを高速で走らせるということには、ほとんど関係ない。また、当時デスクトップマシンを使っていたのは、ごく少数のマニアだけだった。しかし Intel は、先進的な浮動小数点数計算機能について、ロボットや数値制御を要する用途に役に立つものとの見通しを持っており、マイクロプロセッサの最も将来性ある市場の1つと見なしていた。

マーケティングの点から見て、優れた浮動小数 点数機能を備えたマイクロプロセッサは得策のよ うに思われたが、集積回路の技術の制限により、 その公算ははずれてしまった。1978年に発表され た8086の数年間の開発期間には、集積回路を作る ことは現在よりもずっと希で珍しい作業であった。 テクノロジーはまだ未熟で、シリコンウェハー上 にエッチングできる部品の数とサイズによって、 実現可能な(少なくとも適当な価格の)集積回路の 複雑さは制限されていた。そして当時、マイクロ プロセッサは、それまでに設計された回路の中で 最も複雑なものであった。

チップが大きくなるに従い、チップを使用不可能にする欠陥が含まれる確率は高くなった(現在でもそうである)。その一方で、当時の未熟なテクノロジーでは、チップの設計ルールに限界があった。レイアウトが小さすぎると、製造上の欠陥に悩まなければならない確率がそれだけ高くなり、使用できないチップが作られる可能性も高くなるのだ。たとえば、8086マイクロプロセッサで可能な最小の細部寸法は、5~10ミクロンであった(現在では、幅が当時の1/10の設計ルールで作られているチップもある)。8086はこれらの制限の壁にぶつかった。まぎれもなく、チップをより複雑にするためには、デジタル制御の電子フライス盤の市場の発展を待たねばならなかった。

そして、実際には浮動小数点機能は必要とされていなかった。ほかのチップは、専用浮動小数点演算ユニットなしで済ませていた。当時の初歩的なデスクトップコンピュータで一般的だった8086やZ80チップにも、コプロセッサはなかったし、電卓の心臓部として設計された4004でさえ、高度な浮動小数点演算機能は持っていなかった。当時のほとんどのコンピュータアプリケーションは、IEEE 規格の浮動小数点演算プロセッサなどは必要としていなかったのだ。

8087

これらの、合理的ではないにしても、きわめて 実際的な問題の結果として、Intel は、8086 チップに先進的な演算機能を組み込まないことに決め た。その代わりに、とても有用で市場性のある演 算機能を、別の部品に任せることにした。これが、 1980 年に市販用として生産された「8087」数値演 算コプロセッサである。

8086 の発表から、そのコプロセッサの市場投入 までの 2 年間のタイムラグは、市場の問題という より、技術的問題から生じたものである。8087 は 単に設計が難しかったのだ。Intel によれば、発表 当時、8087 はそれまで生産された中で、最も複雑な大規模集積回路であったということだ。

その複雑さにもかかわらず、8087は単体で動作 するものではなく、きわめて強い共生関係を持っ た8086との組み合わせでのみ機能した。8087の 複雑すぎる回路を簡単にするために、チップのエ ンジニアは、8086に組み込まれているインター フェイス制御回路を利用した。メインのマイクロ プロセッサは、メモリ上のすべてのプログラムイ ンストラクションを読み書きし、数値演算コプロ セッサのインストラクションを見つけると、それ をそのまま8087に渡す。また8086は、8087にど のデータを扱う必要があるか教えるが、8087は必 要なデータにアクセスするための、専用のバスコ ネクションを持っている。8087が答えを算出する と、その結果を8086に戻し、8086マイクロプロ セッサは、プログラムに結果を戻すことができる のである。

このように、浮動小数点数演算機能を 2 つのチップで実現する方法には、1 つの大きな利点がある。それは、8087 は、チップの設計をやり直さなくても、ほかのマイクロプロセッサと組み合わせて使用できるということである。Intel は賢明にも、8087を 8086 以降のマイクロプロセッサファミリー全体で利用できるように構成した。この中には、80186や 80188 ばかりでなく、PC や XT に使用されている 8088 も含まれる。

8087 は、40 ピン DIP ソケットに差し込むよう になっている。このソケットには、差し込まれた チップに、対応するマイクロプロセッサと同じア ドレッシング能力やデータ処理能力を提供する。 チップは、16 ビットバスからデータを受け取ることができるが、8088 の8 ビットバスでも、回路の 修正なしで動作する。バス幅に応じて自動的に調整されるのである。8087 は、組み合わされたマイクロプロセッサと同じクロック信号を共用しており、同じ速度で動作する。

8087 には、速度の異なる 3 つのバージョンがある。オリジナルの 8087 は、最高 5MHz のシステムクロックで動作するように設計されている。「8087 -2」は最高 8MHz で、「8087 -1」は最高 10MHz で動作する。

速度以外には、これらのチップの間にはほとんど違いはない。同じコマンドを理解し、同じソフトウェアが走る。3つの中でより高速なチップを、より高速なコンピュータで動作させれば、ほかよりも高速に結果を出すだけである。高速な8087は、その定格よりも遅いクロック速度で動作するが、そのような使い方をする意味はない。システムクロックの速度によってチップの演算速度が決まるのであり、チップの定格は、チップがどの速度のシステムで動作するかの上限を規定しているだけである。

すべての IBM PC、XT、8086 ベースの PS/2、そしてその互換機のほとんどは、8087 が差し込めるように設計されたソケットを装備している。IBM PC や XT ラインのマシンは、8087-1 に対応している。PS/2 や高速 (いわゆる「Turbo XT」)互換機は、一般に 8087-2 が必要である。表 4-1に、代表的な機種の対応コプロセッサを挙げる。

表 4-1 コプロセッサの互換性

メーカー	モデル	推奨コプロセッサ
Amax Engineering	386 Business System	80287-6, -8, -10
American Logic Research	386/2	80287 - 10
American Logic Research	FlexCache 20386	80387 - 20
American Research	ARC 386i	80287 - 10
AT&T	6300	8087 - 2
AT&T	6300 Plus	80287、80287-6
AT&T	6386 Work Group System	80387 - 20

メーカー	モデル	推奨コプロセッサ
CAE/SAR	386	80287-10
CAE/SAR	CAE/SAR II	80387 - 25
Chicago Computer Conn.	CCC-386c	80287 - 6, -8 , -10
Commodore	PC-10	8087, 8087-3
Compaq	Deskpro 286 (8MHz)	80287、80287-6
Compaq	Deskpro 286 (12 HMz)	80287 – 8
Compaq	Deskpro 386 (初期)	80287-6、80287-8
Compaq	Deskpro 386/16	80287 - 16
Compaq	Deskpro 386/20	80387 - 20
Compaq	Deskpro 86	8087 - 2
Compaq	Portable II	80287、80287-6
Compaq	Portable III	80287-8
Compaq	Portable 386	80287 - 20
Computer Classified	ST-386	80287-6, -8, -10
Computer Components	Heritage 386 (初期)	80287 - 10
Computer Components	Heritage 386 (後期)	80387 - 20
Computer Dynamics	Miicro System 386	80387 - 16
Core	ATomizer	80287-6
Corvus	386	80387 - 16
Dell	310	80387 - 20
Epson	Equity III	80287、80287-6
Everex	Step 386/20	80387 - 20
Herko Electronics	HEI Turbo 386 Tower	80287-10, 80387-20
Hewlett-Packard	Vectra R5/20	80387 - 20
IDR	386 Workstation	80387 - 20
IBM	AT (6または8 MHz)	80287、80287-6
IBM	PC	8087、8087-3
IBM	PS/2 Model 30	8087 - 2
IBM	PS/2 Model 30 286	80287-10
IBM	PS/2 Model 50	80287 - 10
IBM	PS/2 Model 60	80287-10
IBM	PS/2 Model 70 (16 MHz)	80387-16
IBM	PS/2 Model 70 (20 MHz)	80387-20
IBM	PS/2 Model 70 (25 MHz)	80387-25
IBM	PS/2 Model 80 (16 MHz)	80387-16
IBM	PS/2 Model 80 (20 MHz)	80387-20
IBM	XT	8087、8087-3
IBM	XT Model 286	80287、80287-6
IBM	Portable PC	8087、8087-3

メーカー	モデル	推奨コプロセッサ
IBM	3270 AT	80287、80287-6
Intel	Inboard 386	80387-16
Intel	Inboard 386/PC	80387-16
Kaypro	386	80287-10、80387-16
Laser Digital	Pacer-386	80287-10
Micro 1	386 PC	80387-16
Mistubishi	MP 386	80287-8, 80387-16
NEC	APV-IV	80287、80287-6
NCR	PC4	8087、8087-3
NCR	916	80287-10、80387-16
Northgate Commputer Sys.	386/20 Northgate Power	80387-20
Osicom Technologies	Ocicom 386	80287-10, 80387-16
Pan United	Micro Lab 386	80287-8, -10, 80387-20
PC Designs	GV 386	880287-6, -8, -10
PC Link	386/20	80387-20
PC's Limited	386/16	80387 - 16
Proteus Technology	286 Stanndard	80287 - 10
Proteus Technology	386A	80287 - 10
Sperry	PC/microIT	80287、80287-6
Tandon	PCA	80287、80287-6
Tandy	3000	80287、80287-6
Tandy	4000 (初期)	80287-8
Tandy	4000 (後期)	80387-16
Televideo	Tele/386	80287-10、80387-16
Toshiba	T5100	80387 - 20
VIPC	386 Colossus	80387-20
VIPC	System Micro 386	80287-8, -10, 80387-20
Wang	380	80287-10
Whole Earth	386 Tower	80387-20
Wyse	pc286	80287 - 10
Wyse	pc386	80387-16、80287-6、-8、-10
III	pc386	80387-16, 80287-6, -8, -10
Wyse	1400	8087、8087-3
Wyse	1500	8087、8087-3
Zenith	148	8087-2
Zenith	150	8087、8087-3
Zenith	158	8087-2
Zenith	160	8087、8087-3
Zenith	386	80287-6, -8, -10, 80387-16
Zenith	Z200	80287、80287-6

80287

8087の最初の設計において、Intel は、チップの回路をバスインターフェイスユニットと、実際の浮動小数点演算ユニットの、2つの機能要素に分割するという先見の明を持っていた。前者は、チップとそれが搭載されているシステム (特にマイクロプロセッサ)とをリンクし、後者は演算を実行する。したがって8087は、演算機能側はそのままで、バスインターフェイスだけを修正して、簡単にほかのマイクロプロセッサや環境に適合するように改良できる。結局は、これがIEEE 浮動小数点数規格の求めていた形だった。8087の形式や機能、算出される答えは、規格によって定義されているため、組み込まれたマイクロプロセッサやコンピュータによっては変わらないのである。

Intel は、次世代の浮動小数点数演算プロセッサ「80287」の開発に、8087の分割設計を採用した。1985年に発表されたとき、オリジナルの80287は、8087の浮動小数点数演算部分を利用し、Intel の80286マイクロプロセッサチップに適合するように、これに新しいインターフェイスロジックを組み合わせていた。ただし、変換の過程では、初期のIEEE 規格の変更を反映させて、浮動小数点演算ユニットに若干の修正を加えた。

8087 の場合と同じく、80287 のバスコントロールロジックは、80826 とリンクするように設計されており、システムサポートについては、マイクロプロセッサに依存している。新しいマイクロプロセッサでは、広いアドレスバスが使われているため、8087 は 80286 と一緒に使うことはできない。実際、80287 と 80286 の結び付きは、8087 と 8086 のそれよりも緊密である。80287 は、組み込まれているコンピュータのアドレスラインへのアクセス権さえ持たない。メモリ関連の動作は、すべてメインの80286 マイクロプロセッサが処理するのである。

このアドレスなしの設計により、80287は、80286プロセッサのリアルモードとプロテクトモードの両方を扱うことができ、プログラム側からは、マイクロプロセッサの持つ16Mバイトのアドレス範囲すべてを利用できる。8087はリアルモードでしか動作しない。

8087 と同様に、80287 は 40 ピン DIP ソケットタイプにパッケージ化されているが、8087 とはピン互換ではない。さらに、8087 は、ホストのマイクロプロセッサと同じクロック信号に同期しているのに対し、80287 は非同期で動作するように設計されている。このため、80287 は、かならずしもホストのマイクロプロセッサと同じ速度で動作するわけではない。マイクロプロセッサとコプロセッサの2つのチップは、互いのデータ転送サイクルに合わせて、その動作を同期させることが可能で、必要に応じて待ち時間をとりながら動作している。

通常 80287 は、80286 ベースのマシン全体を制御しているオシレータに接続されている。しかし、内部分周回路が、80287 に入ってきたクロック周波数を、浮動小数点数回路に到達する前に 1/3 にスローダウンする。したがって、80287 は、与えられたクロック速度の 1/3 で動作しているのである。ほとんどの 80286 システムでは、マイクロプロセッサを走らせるクロックは、80286 に接続される前に半分に分周される。一般には、コプロセッサがマイクロプロセッサのちょうど 2/3 の速度で動作するように、80287 には分周される前のクロック信号が接続されている。たとえば、8MHz の IBM AT では、80287 コプロセッサは 5.33MHz で動作する。

80287は非同期で動作するため、そのクロックが、マイクロプロセッサの倍数または約数である必要はない。事実、80287に専用のクロックを与えているコンピュータもあり、このようなシステムを設計するエンジニアは、希望する速度でコプロセッサを動作させることができる。専用クロックを使うことによって、80287の実質上のデータスループットを上げることができる(ただし、チップの定格が設計速度未満である場合に限る)。

80287 は、386 マイクロプロセッサとも互換性がある。しかし、386 と同じ速度で動作することはできず、386 が使っているデータバスに適合させるには、特別なインターフェイス設計が必要になる。さらに、80287 はそもそも 16 ビットチップなので、80287 とホストの386 との間のやり取りは、基本的にはすべて16 ビットワードで行われ

る。これは目に見えない障害になりうる。

これまでIntelは、4種類の速度定格を持つ 80287 チップを発売してきたが、現在でもいずれ もすたれてはいない。4種のチップはすべて、2つ の新しいコプロセッサ、「287XL」と「287XLT」に 姿を変えた。この新しい2つのコプロセッサは、 第2世代の「387」コプロセッサ (本章で後述) に初 めて搭載された、新しい浮動小数点演算ユニット の設計に基づいたものである。どちらも、最高 12.5MHzの速度で動作するように設計されてい るが、287XLのほうは、どの速度定格の287チッ プにも合うように設計されたソケットに差し込む ことができる。一方、287XLTは、特に低電力ア プリケーションを対象にして設計されたもので、ほ かの287とはソケットの互換性がない。287XLT は PLCC (Plastic Leadless Chip Carrier) パッ ケージで、XL は初期の80287の搭載に使用され ていた 40 ピン DIP ソケットと互換である。

古い80287は、速度定格が表示されているので区別できる。普通の80287 (80287-3)は、最高5MHzの速度で動作する。「80287-6」は最高6MHz、「80287-8」は最高8MHz、「80287-10」は最高10MHzでそれぞれ動作する。4つのチップは、与えられているクロックがチップの動作範囲内ならば、相互に交換して使用できるが、わざわざ遅いクロックで高速仕様のチップを使う意味はない(高速チップはたいへん高価である)。

12.5MHz 定格の 286XL や XLT よりも高速な 80287 は、存在しないことに注意する必要がある。しかも、他社は最高 20MHz の速度で動作可能な (必要なクロック信号を、そのコプロセッサソケットに供給できる場合に限る) 80287 の高速クローン を作っている。これらのチップには "287" という番号とその後ろに速度定格の "-20" を付けたパーツナンバーが付けられている。

80287 の Intel のバスコントロールロジックの設計では、コプロセッサは情報のアドレス指定について、マイクロプロセッサに依存するようになっている。これは、80287 が 80286 の 16M バイトのメモリ空間によって制限されないということを意味する。この設計により、80287 は 386 マイクロプロセッサとも動作でき、実際、2 年間は、386 の

正式な Intel 製コプロセッサは 80287 であった。

しかしながら、80286 は 386 環境では欠陥があっ た。80286は16ビットインターフェイスで設計さ れているが、386 は32 ビット動作が可能で、80287 ヘデータを移すためには、幅の広いデータを、狭い サイズに変換しなければればならなかった。さらに、 80287 は IEEE 浮動小数点数規格から取り残され てしまった。事実、80287が生産に入った後になっ て、IEEE の浮動小数点数規格が、「ANSI/IEEE 754-1985」として現在知られている最終的な形を 取ったのである。80287とその最終規格の間には、 微妙な違いがあったため、80287は特に386ベー スのパーソナルコンピュータにとっては、理想的 な数値演算コプロセッサではなくなった。とはい え、低速の80287でも、浮動小数点数演算におい ては、386単体より高速であり、したがって、低 速の80287でも追加する価値はある。

387

Intelが、386 に適合するコプロセッサの設計を開始したときには、8087 設計は古くなりつつあった。古びた浮動小数点演算ユニットは、変わりつつある IEEE の試案に追いつかなくなっていたばかりでなく、現代の半導体設計技術にも遅れをとっていた。このため Intel は、386 マイクロプロセッサにマッチするコプロセッサを開発するにあたって、チップ全体(バスコントロールロジックと浮動小数点演算ユニット)を改良することに決めた。

Intel は、アメリカでの386設計作業と並行して、イスラエルで「387」の開発に取り組む設計チームを組織した。しかし、数値演算コプロセッサは、予想していたよりも大きなチャレンジであることがわかり、結果として387は、386から約2年間遅れて登場することとなった。その間は、古い80287が386の計算アシスタントとしての役割を果たした。

新しい浮動小数点演算ユニットが発表されたとき、最終の IEEE 規格に準拠しているだけでなく、前の 8087/80287 浮動小数点演算ユニットより約5 倍速いことがわかった。この新しい浮動小数点演算ユニットは、387 数値演算コプロセッサの一部として 1987 年に発表されたのち、Intel における

以後すべての数値演算コプロセッサの基礎となった。また、387SX や、80287の最新バージョンである 287XL や 287XLT コプロセッサの基礎としての役割も果たしている。その設計の大部分は、486マイクロプロセッサの浮動小数点演算部分に反映されている。

387 は、80287 が 8087 に対して持っているのと同程度の下位互換性を、80287 との間に確保している。おもな相違は、IEEE 規格の変更に起因するエラーハンドリングにある。この相違は、ソフトウェアが適切に書かれていれば容易に管理できるものである。問題によっては、387 や 387SX は、実際に 80287 とは少し異なる答えを出す可能性もある。「2 と 2 をたしたら 22 になった」というほどひどいものではないが、はるか下位の小数点位置で異なる超越数 (π 、 ϵ など)を導き出す場合がありうる。これは、マイクロプロセッサに欠陥があるからではなく、387 と 387SX が最新の IEEE 規格に正しく準拠しているからである。

Intelが、387の浮動小数点演算ユニットの更新において行った、そのほかの変更は、sin、cos、tan、sec、log 関数を始めとする、広範な超越関数をチップに組み込んだことである。その結果、387と387SXは、80287用に書かれたすべてのプログラムを実行できるが、逆はかならずしも真ならずで、387または387SXのすべての能力を利用しているプログラムは、下位のチップでは実行できないこともある。

387 は非同期で動作することができるが、通常は、一緒に搭載されている 386 と同じ速度で動作する。したがって、マイクロプロセッサの高速バージョンが利用可能になるに伴い、それを追いかける形で、より高速なバージョンが作られており、現在は最高 33MHz のバージョンが存在する。

387 は、386 と外観は同じで、サイズが小さいだけである。その正方形の68 ピン PGA (Pin Grid Array)パッケージは、マイクロプロセッサと同様に、焼き物の板のような外観をしている。チップの速度定格は、パーツ番号の後ろに MHz 単位で表示されており、したがって、「387-20」であれば、定格速度は20MHzということになる。

387 の設計はその後に変化した。387 を 33MHz

定格まで上げることが必要になったとき、さらなる設計改良が必要であることが判明した。Intelは、N型金属酸化膜半導体(NMOS)から相補型金属酸化膜半導体(CMOS)に切り換え、チップのシリコンに1ミクロンの単位でエッチングできる、新しい製造技術を使用した(以前の387は1.5ミクロンまでであった)。浮動小数点演算ユニット自体の設計修正を含む、これらの改良によって、約20%の性能の改善が得られた。同じ基本設計は50MHzチップにも使用されている。

1990年10月1日、Intelは387チップの16、20、25MHzの各バージョンに33MHz以上の高速バージョンが使っていたのと同じ新しい技術を適用し、性能を20%向上させた。新しいチップは、前のものとソケットは互換で外観も同じである。古い技術の387と新しい技術のチップを見分ける唯一の方法は、パーツナンバーの下の数字コードである。古い387は、10個の数字からなるコードの頭に "S"という文字が付いているが、新しい技術で作られたチップにはこれがない。

386SX 用の数値演算コプロセッサである 387SX も、この技術を使って 1990 年 1 月に発表された。 387SX は 387DX と同じチップだが、32 ビットの データバスではなく、386SX の 16 ビットバスで 動作するように、バスインターフェイスユニットが 修正されている。Intel は、16、20、25MHz の速度定格のものを含めて、すべての 386SX マイクロプロセッサにマッチする 387SX を発売している。

487SX

オリジナルの 486 マイクロプロセッサの設計では、外付けの浮動小数点コプロセッサはまったく必要なかった。Intel は、(最新、最高速の 387 設計を使って)メインのマイクロプロセッサの内部に、浮動小数点回路を組み込んでいたのである。コプロセッサを内蔵することによって、パッケージが1つ不要になっただけでなく、メインのマイクロプロセッサとコプロセッサの間の通信も簡素化された。わざわざ経由しなければならない外部回路がないため、どんな幅および速度でもうまく動作する、最適な伝送パスを設計することができる。チップ設計と製造技術における前進により、

かなり複雑な設計も可能になった。

しかし、コンピュータを使ったすべての仕事に、かならずしも浮動小数点コプロセッサが必要なわけではない。技術の進歩により、1つのシリコン片に、メインのマイクロプロセッサとコプロセッサ回路を同時に組み込むことが可能になったとはいえ、2つを組み合わせたチップは、汎用プロセッサ単体よりも製造コストが高い。コプロセッサ回路をなくせば、安い486が作れるのである。実際、コプロセッサなしの486は高速な386ともいえる。つまり、486の効率的な処理の長所は持っているが、アプリケーションによっては、高価なだけで必要のないコプロセッサが付いていないチップなのである。このアイデアから生まれたのが「487SX」コプロセッサである。

487SX は、ユーザーにもう1回チャンスを与えるものだ。つまり、486SX ベースのマシンを購入した後で、アプリケーションから最大の性能を引き出すのに、コプロセッサが必要になった場合、このチップが、必要な数値演算速度を与えてくれるのである。また、投資コストを分散して、最初は安価な486SX を購入しておき、後で486DX のフルパワーにアップグレードすることもできるのである。もちろん、Intelが486SX を投入するにあたっては、たとえば、コプロセッサユニットに製造上の欠陥がある486DX チップの販路を、486SXによって得ようというような、もっと世俗的な理由を持っていた可能性もある。

486SX と 487SX の存在理由がなんであれ、これらには欠点がある。486DX の主要な長所の1つは、マイクロプロセッサとコプロセッサを1つのパッケージに収めたということであったが、486SX と 487SX のペアはこの設計を2つに分けたものなのだ。

こうした欠点を回避するために、Intel は奇抜な解決法を考え出した。487SX は基本的に、ほんの少し異なるパッケージに入った486DXである。

487SX には特別なピンがあり、487SX をソケットに差し込むと、搭載されている 486SX を自動的に無効にして、487SX の回路が、すべてのシステムオペレーションについて、486SX の代理を務める。追加されたピンはこのような機能をもっている。また、486DX は 487SX の代わりとしては使用できないようにもなっている。487SX を搭載すると486SX はオフになるが、487SX は、マシン内には同時に 486SX が搭載されていなければ動かない設計になっている。この方法は、少なくとも Intelにとっては利益となっている。ユーザーは 487SX を搭載後、古い 486SX を取り出してほかのパーソナルコンピュータに付けることはできない。もしこれが可能ならば、Intel にとって、ほかのマイクロプロセッサの売上減となるだろう。

487SX チップは、いずれも PGA パッケージで、Intel のラインアップの、各 486SX マイクロプロセッサに適合する速度定格のものがある。しかし、現在 487SX は Intel の「OverDrive」チップの登場により、すたれてしまっている。487SX のシンプルなコプロセッサ機能とほぼ同じ価格で、OverDriveチップは、クロックの倍速化と浮動小数点機能を同時に提供している。OverDrive はお買い得なのだ。

また、戦略的には、OverDrive ラインはコプロセッサ競争に大きな課題を与えている。もはや、コプロセッサのクローンを作るだけでは十分でない。プロセッサとコプロセッサー体型のチップ全体を複製しなければならないのだ。これは、ベンダーが越えねばならない高いハードルである。

不完全な 486SX チップが得た不評と、OverDrive とを併せて考えてみると、487SX は Intel の専用コプロセッサラインの、最後の存在であるといえるだろう。たしかに Intel は、市場が要求する限り(その製品から利益が得られる限り)、古いマイクロプロセッサ用のコプロセッサの製造を中止することはないだろうが、新しい浮動小数点演算ユニットは恐らく Intel の計画に入っていないだろう。

4.5 互換コプロセッサと非互換コプロセッサ

だれが言ったのかは分からないが、"パーフェクトな製品"とは5セントで製造でき、1ドルで売れ、習慣性のあるものなのだそうだ。コプロセッサには習慣性はないが(パーソナルコンピュータの性能を向上させる製品は、そういう傾向もないわけではないが)、それ以外の点ではパーフェクトな製品といえる。一時1,000ドルまで価格が上がったこともあるコプロセッサの製造コストは、現在はほんの数ドルである。コプロセッサは、半導体ビジネスの中で最も儲かる分野の1つであり、ほとんどのチップメーカーには、コプロセッサの製造が、ギャンブラーにとっての勝つことが分かっている賭けと同じように、魅力的に映ったことは理解できる。

Intel は、ほかのチップメーカーに、80286 と80287 ファミリー用のマイクロプロセッサとコプロセッサの設計を行うライセンスを供与したが、387と386のライセンスを供与することだけはかたくなに拒否した。生産コストが低く、市場価格が高いこれらのチップは、Intel にとって大きな収入源だったのである。これがどれほど儲かるかは、これを羨んだ多数の企業が、自社の互換製品の設計に投資したことでもわかる。Chips and Technology、Cyrix Corporation、Integrated Infomation Technology、ULSIなどがそうした企業であった。

これらのコプロセッサはすべて、"クリーンルーム"の手法を用い、リバースエンジニアリングによって設計されている。すなわち、設計者は元の製品の正確なレイアウトについては詮索せず、その機能から元をたどることによって、プロトタイプを複製しているのである。その結果生まれたクローンは、Intelの設計とは大きく異なっている。事実、ほとんどの互換コプロセッサメーカーは、自社の製品は後から設計したものの強みで効率的な設計になっており、オリジナルより優れていると主張している。

クリーンルーム手法によって、多数の著作権問題を回避できるが(クローンチップは実際に、Intel

チップのどの部分もコピーしていない)、Intelが 権利を有するほかの法的保護と衝突することがあ りえる。たとえば、Intelは、ライセンスを供与す るかしないかを自由に決められる、チップ製造に 関する多数の特許を持っている。このようなライ センスを手元に留めておけば、クローンチップは いうまでもなく、ほかの会社がチップを製造する のを阻止することも可能だ。実際、Intelは、いく つかのコプロセッサメーカーに対して、この法的 保護を主張したことがある(そのうち、少なくと も一時的に成功したのは、ULSIに対する訴訟で ある)。また、ほかの互換コプロセッサベンダー に対する訴訟も開始したが、クローンチップの販 売を阻止することはできなかった。ベンダー側は、 アメリカの伝統にならって、Intel に対する訴訟で 応酬したのである。結果として、クローンコプロ セッサは、つねに法的な不確実性を伴っている。

複雑な法的手順は、専門家である法律家に任せればよい。ユーザーが互換コプロセッサを購入したい場合に、法律の複雑さを心配する必要はない。だれかがドアをノックして、不法なコプロセッサを没収したりはしない。むしろ、すべての可能な選択肢を調査し、自分や、自分のパーソナルコンピュータ、そして自分の予算に最も適した選択肢を選ぶようにしなければならない。選択肢はいくつもあるのだ。

Chips and Technologies SuperMathDX

チップセットメーカーの Chips and Technolo gies 社は、1991 年に生産ラインを拡張して、Intel 互換のマイクロプロセッサをリリースし、続いて1992 年には 387 互換のコプロセッサをリリースした。387 互換チップは、同社の「SuperMathDX」ラインで具体化された。

SuperMathDX チップは、外見は 387 だが、内 部設計はまったく異なっている。Chips and Tech nologies 社によれば、SuperMathDX チップは、 いくつかのオペレーションを、Intelの同等品の6倍の速度で実行できるようだ。もちろん、この差は浮動小数点の性能だけを見たもので、実際のアプリケーションではその差はずっと小さい。

Intelの387シリーズとソケット互換の、Super MathDX ラインのコプロセッサは、Intelのチップと同じ68ピンPGAパッケージを使用しているが、Intelの387DXと比べて、ハイエンド版では一歩進んでおり、最高40MHzの定格のものがある。

現在のコプロセッサの中で、SuperMathDX シリーズにだけ特有なのは、「パワーマネージメント回路」である。これは、ラップトップパソコン用のマイクロプロセッサが持っているパワーマネージメント回路に似たもので、これにより、SuperMathDX の消費電力が削減される。通常、このチップは動作時に約 0.5W (5V で 100mA) 必要である。SuperMathDX シリーズは、IEEE 754ー1985 浮動小数点仕様に準拠しており、Chips and Technologies 社によれば、全シリーズのチップが、Intel の 387 ラインのコプロセッサと 100%互換性があるとのことだ。

Cyrix 83D87

Cyrix Corporation は、先進的な半導体部品を設計、販売するために 1988 年に設立された。設立後、Cyrix が最初の製品として、Intel 互換の数値演算コプロセッサを開発することを決定したのは、この分野の市場では目立った競合がなかったためである。Cyrix のコプロセッサ「FasMath」シリーズの第1号は、1989年10月に、Intel 387のピン互換製品である「83D87」として誕生した。1990年3月には、386SXコンピュータ用の低価格バージョン、「83S87」が発表された。

Cyrix の製品は、Intel 387 ファミリーのコプロセッサと、完全互換であるように設計されている。 Cyrix のチップは、Intel 製品のドキュメント化されている機能も、ドキュメント化されていない機能も取り込んだ、まったく独自のロジック設計で作られている。最も大きな違いの1つは、Cyrixチップは、マイクロコードよりも、ハードワイヤードロジックに依存しているということである。このような設計を採用したことにより、Cyrixチッ プは、浮動小数点演算では Intel のチップより、かなり速い速度で動作できるようになっている。

ハードワイヤードロジックとは、その名のとおりの意味で、コマンドを構成するビットパターンが、直接チップの半導体素子回路の状態変化を起こす。各パターン(各論理命令)は、コプロセッサのハードウェアの中に特別に設計される。

マイクロコード設計の場合には、マイクロプロセッサに送られるインストラクションによって、チップは縮小版の内部プログラムを構成している、複数のステップを実行する。内部プログラムが、チップのより汎用性の高いロジックに、要求された機能を実行するように指示するのである。

マイクロコード設計は、より組織化された手法で、設計者に高い柔軟性を与え、製品化を早めることができる。また、こうした設計により、汎用回路で複雑なインストラクションセットを扱うことも可能になっている。しかし、マイクロコードは、チップの思考プロセスを減速させることもある。マイクロコードを実行することにより、各演算にもう1つの層のオーバーヘッドが課されるためである。

純粋に浮動小数点演算に限れば、Cyrix チップは、正式の Intel 387 チップのほぼ 2 倍の速さで演算することができる。しかし、市販のアプリケーションソフトウェアで得られる実際の性能の差は、もっと小さい。ほかの動作のオーバーヘッドにより、Cyrix と Intel の製品の間には、約 10%程度の差しか現われないことに注意しなければならない。

Cyrix EMC87

Cyrix は、自社を単なるクローンチップメーカー以上のものにするために、メモリマップ設計の「EMC87」を作り、I/Oマップ設計のコプロセッサに従来から存在した制限を超えようと試みた。EMC87は、387と同じアーキテクチャをベースにして、80ビットレジスタを持ち、同じコマンドセットを使用したが、バスコントロールロジックは全体を作り直している。Cyrix によれば、Intelに対して5倍の性能を達成するとのことだ。しかし、前述のように、システムのほかのオーバーへッドを考えると、実際のアプリケーションの実行時

にはその差はほとんどなくなる。

しかし、ほかのメモリマップコプロセッサとは 異なり、Cyrix は EMC87 で Intel 387 との完全な 互換性を達成している。Cryix チップは、アプリ ケーションで与えられるインストラクションに応 じて、I/Oマップコプロセッサとしても、メモリ マップコプロセッサとしても動作することができ る。I/Oマップインストラクションの場合には、 Intel 387 とほとんど同じ動作をし、メモリマップ インストラクションの場合には、ネイティブモー ドに移行する。

当然ながら、メモリマップコプロセッサとしての 速度を得るには、EMC87 用に特別に書かれたソフトウェアが必要である。既存のほとんどのアプリケーションは、Intel 387式の I/O マップインストラクションしか持っていない。さらに、EMC87は、Weitek Corporationによって製造されたチップファミリーを含めて、ほかのメモリマップコプロセッサ用に書かれたコードとは互換性がない。Weitek と Cyrix のメモリマップチップは、その浮動小数点演算ユニットに、まったく異なるアーキテクチャを採用している。

EMC87 はメモリマップ方式なので、386 コンピュータで使用されているすべてのアドレスラインヘアクセスする必要がある。したがって、EMC87は121ピンすべてを持っており、通常は Weitekのコプロセッサ用として搭載されている EMC ソケットに収まる。

チップの需要を生み出すには、ソフトウェアが必要であることから、Cyrix は、EMC87 用として、アセンブリ言語のコードを、I/Oマップインストラクションからメモリマップインストラクションに変換するコードコンバータを提供している。このコードコンバータは、Pascal やCを始めとする、高水準言語コンパイラによって作成されているものを含めて、いかなるアセンブリ言語のファイルでも使用することができる。この無料のコードコンバータは、ソフトウェア開発者には興味深いものであるが、エンドユーザーにとっては何の価値もない。市販のアプリケーションを、EMC87と互換になるように変換することはできないのである。

ソフトウェアベンダーが EMC87 に興味を示すまでは、このチップの追加機能は単なる好奇心の的でしかありえない。ユーザーの基盤を育てるために、Cyrix は EMC87 の価格を 83D87 と同じに設定した。これらのチップは、Intel の I/O マップインストラクションと互換性があるため、自分のマシンに 83D87 より大きい EMC87 用のソケットがない人にとっては、それだけが 83D87 を選ぶ唯一の理由となる。

IIT 3C87

Integrated Infomation Technology はコプロセッサメーカーで、浮動小数点チップとビデオチップの両方を作っている。Weitek で働くために Intel を退社した 2 人のエンジニア (1 人は実際に Weitek の共同創立者であった) が 1988 年に始めたこの会社は、1.2 ミクロンテクノロジーを基にしたフル CMOS 設計を使って、Intel の 80287 および 387 と互換性のあるチップを提供している。

IIT コプロセッサ設計は、「IIT 3C87」が 8 個ではなく、32 個の 80 ビットレジスタを持っているという点で、Intel のオリジナルと異なっている。これらのレジスタは 4 つのバンクに分けられており、 4×4 行列の数値演算を可能にする設計によって、グラフィックスアプリケーションでの描画性能を加速できるようになっている。Intel アーキテクチャのコプロセッサのシミュレートには、4 つのバンクのうち 1 つだけを使っており、4 つのバンクすべてを使うには、IIT の 4×4 行列インストラクションを使っている、特別なプログラムが必要になる。

IIT によれば、3C87 は、数値演算では Intel 387 より 50%高速に演算を行うことができる。しかし、Cyrix チップの場合と同様に、システムのオーバーヘッドがあるため、実際のプログラムスループットはもっと小さい。

Cyrix チップとは異なり、IIT のコプロセッサは Intel 387 のオペレーションをそのまま複製していない。Intel と IIT のチップでは、80287 と 387 の場合と同様に、例外処理が異なっている。.IIT のチップで実行すると変則的な結果を示すプログラムを書いて、この違いを商売に利用したチップ

メーカーもあった。これらのチップメーカーは、このような結果は 3C87 の不正確さを示していると主張している。しかし、IITによれば、このように奇妙な答えが出るのは、1,027 のように比較的小さな数で大きな数を割ることによって、例外処理の違いを、わざとおおげさに表わそうとしたときに限られ、通常のアプリケーションソフトウェアでは奇妙な結果が出ることはないということである。

IIT は、初期の 3C87 内部にバグがあり、UNIX の下で AutoCad を実行しているとき (この組み合わせで使用している場合に限り)、アークタンジェントを使うとエラーが出ることを認めている。このバグは 1990 年 6 月に修正されている。また、ITT によれば、これまで出荷された 100,000 個のチップでは、そのほかのいかなる問題も報告されていないとのことだ。

ULSI MathCo 83C87

現在はもうコプロセッサ競争には参加していないが、ULSIの「MathCo 83C87」は、Intel Corpo rationが行った訴訟により、マーケットから締め出された。 "ULSI は 83C87の製造において Intel の特許を侵害している"との請求が Intel から出され、1991 年初めに法廷は ULSI に対して、今後チップ製品を販売しないようにとの命令を下したのである。

ULSI という社名は、この会社の専門分野である "Ultra Large Scale Integration"を略したものであり、多量の回路が詰め込まれた小さなチップ製品を開発している。MathCo 83C87 は、Intel 387 のリバースエンジニアリングによって製造されたクローンである。ULSI によれば、MathCo 83C87 ラインの製品は、模造した様々な Intel チップと完全なソケット互換がある。

CMOS 技術と、無駄を省いたシンプルな設計を使用した ULSI 製品は、Intel のチップよりも高速であるといわれていた。MathCo 83C87 は、各演算を、Intel チップで同じ演算を行うのに必要なクロックサイクルよりも少ない時間で実行できた。たとえば、Intel チップは、簡単な加算インストラクションを実行するのに 18 クロックサイクル必

要だが、ULSIチップでは3サイクルしか必要ない。また、Intelチップでは80サイクル必要な除算を、ULSIチップは40サイクルで処理できる。とはいえ、こうした高速計算もそのチップを買えなければ何の意味もないわけで、法係争の問題によって、ULSIコプロセッサの先行きは不安定なものになっている。

Weitek 1167

ほかの会社が Intel のコプロセッサのクローン作 りに専念していたとき、California 州 Sunnyvale にある Weitek Corporation は、独自の道を進み、 自らの規格に合わせたメモリマップコプロセッサ を作っていた。Intel の元社員によって設立された Weitek は、ほかのどのクローンチップのメーカー よりも、世界で愛用されているマイクロプロセッサ のメーカー各社と良い関係を持っている。1981年 に創立された同社は、1985年までに、Motorola 68020 や Sun SPARC マイクロプロセッサをベー スにしたものを含め、様々なワークステーション 用の浮動小数点コプロセッサを生み出していた。 このころ、Intelは、386マイクロプロセッサ用の コプロセッサの生産で、Weitek と契約を結んだ。 Weitek によれば、Intel の 387 開発スケジュール は遅れており、Weitekが387チームと並行して 製品を開発したとのことである。

しかし、387 とは異なり、Weitekの力作は、マルチプラットフォーム設計から開発されたものでだった。Intel 環境用の最初の Weitek の製品は、1個のコプロセッサを、構成要素に分割している。浮動小数点チップは同じものを使うが、バスインターフェイスのチップは、ほかのマイクロプロセッサアーキテクチャとは別のものを使うようにしたのである。したがって、最初の Weitek チップである「WTL1167」は、1個のチップではなく、小さなし形プリント回路基板に複数のチップが載った部品であった。Weitek が所有権を持つ3つのモジュール、「1163」、「1164」、「1165」がまとめられて1つのコプロセッサ部品を形成していたのである。

WTL1167 は、特殊な外観を持ち値段も高いが、 1つの大きな強みを持っている。それは、多数の 数値演算、特に CAD において、387 よりずっと 高い性能を実現するということである。さらに、 超越関数だけではなく、すべての数値演算で動作 する。Weitek Corporationによれば、WTL1167 は、専用のマシンでは、387 の 3 倍から 4 倍の性 能を出せるということであった。とはいえ、コプロ セッサだけを使うアプリケーションはないのだか ら、このような性能の保証もやはり無意味である。

WeitekのWTL1167とその後継チップは、奇妙なコマンドセットを使うのではなく、本来のプロセッサの実力だけで、パーソナルコンピュータの浮動小数点性能を加速している。事実、Weitekチップには、Intelチップのような豊富なコマンドレパートリーも広いレジスタの幅もない。Weitekコプロセッサはすべて、加減乗除、否定、絶対値、比較テスト、データ移動、フォーマット変換の各機能を扱うように最適化された、32ビットレジスタを使用している。

Intelのコプロセッサと同様に、WTL1167 やほかの Weitek チップは、ホストのマイクロプロセッサから渡される、特別なインストラクションに依存しているが、そのインストラクションは、Intel チップが使っているものとはまったく異なる。Weitekコプロセッサのインストラクションは、ホストのマイクロプロセッサに、DOS または OS/2 プログラムが使用できる範囲を越えた、特定のメモリエリアをアドレス指定させる。アドレス指定動作、つまり、これらの特別なアドレスラインで特定のパターンの起動することにより、Weitek プロセッサはどのオペレーションを実行すべきか指示される。

WTL1167 は、387 が使っているソケットのスーパーセットである、特別な 121 ピンソケットに差し込まれる。したがって、このソケットを使っているコンピュータなら、387 と WTL1167 のどちらでも搭載することが可能だ。

WTL1167 のボードには、外した 387 を挿入す

るソケットが用意されており、1つのシステムで2つのチップを使うことができる。このため、両チップの恩恵を受けることができる。ただし、パーソナルコンピュータに両方のチップを差し込んでも、2つのコプロセッサは相互に作用し合ったり、協同作業をすることはない。各チップは専用に設計されているコードだけを実行するのである。

Weitek 3167

本来、3 チップ設計は作るのにコストがかかり、1 チップよりも信頼性が低い。このため、1988 年 4 月、Weitek は 3 チップの WLT1167 を統合してシングルチップ「Abacus 3167」を作った。しかし、パッケージを除けば、基本的に 1167 と 3167 は同じもので、同じアプリケーションを実行し、同じ性能を実現する。

Weitek 4167

1989年11月、Weitekは、3167をベースにして、Intel 486マイクロプロセッサの機能を強化するように設計された数値演算コプロセッサ、「Abacus 4167」を発表した。Weitekによれば、4167は、浮動小数点演算を、486単体の場合より3倍から5倍高速に処理することができ、486ベースのパーソナルコンピュータに、RISCを使ったミニコンピュータと同程度の演算能力を与えることができるということである。

4167 は、3167 と完全互換性を維持しており (Weitek は、これを "フルアップワードオブジェクトコードコンパチブル" (full upward object code compatible) と呼ぶ)、3167 で実行できるアプリケーションはすべて実行する。ただし、4167 は、3167 とハードウェアの互換性は持っていない。4167 は、冒険心旺盛なプログラマのために、16 個の 32 ビットレジスタを提供しており、142 ピンのソケットが必要である。

4.6 コプロセッサに対する正反事例

表面的には、コプロセッサは賞賛に値するコンセプトである。コプロセッサは、浮動小数点演算における性能の実質的な改善という、明確な設計目的を示している。ある仕事が浮動小数点演算だけで行われる場合には、コプロセッサチップに奇跡を期待できる。将来の2世代、3世代後のマイクロプロセッサを待たずに、コプロセッサを追加することによって、速度の向上を図ることも可能だ。

残念ながら、ベンチマークテストやコプロセッサメーカーの開発したデモンストレーションを除けば、どのコンピュータプログラムも浮動小数点演算だけで構成されているということはない。高度に数値演算を必要とするアプリケーションでも、浮動小数点演算を使い切れない。

大量の繁雑な計算においてさえ、ほとんどのア プリケーションはそのコードの一部だけを計算に 当てている。アプリケーションプログラムは、ディ スプレイ情報の処理、ディスク操作、そのほかコ プロセッサの援助を受けない雑多な機能にも、時 間を割かなければならない。結果として、市販の アプリケーションによって行われる仕事の中で、 コプロセッサの能力を当てにしているのは、ほん の一部に限られる。ほかのものよりオーバーヘッ ドが少ないため、コプロセッサを追加することに よって高速化されるプログラムもあるとはいえ、 いずれのアプリケーションも、実行を依頼された タスクの影響をとても強く受ける。たとえば、ス プレッドシートをデータベースとして使っている 場合は、コプロセッサからの恩恵はほとんど受け ないが、同じプログラムを財務計画に使用すると、 コプロセッサによってプログラムは高速化する。

コプロセッサの価値は、実行するアプリケーションばかりでなく、アプリケーションが関係しているタスクなどによっても変わってくるのである。

コプロセッサによって性能を改善させるには、 その作業が超越関数を必要としていなければならない。超越関数を最も必要とする分野は工学や科学である。一般的な経理計算では超越関数の必要性がないが、複利計算が関連する財務処理などでは、コプロセッサから恩恵を得られるだろう。

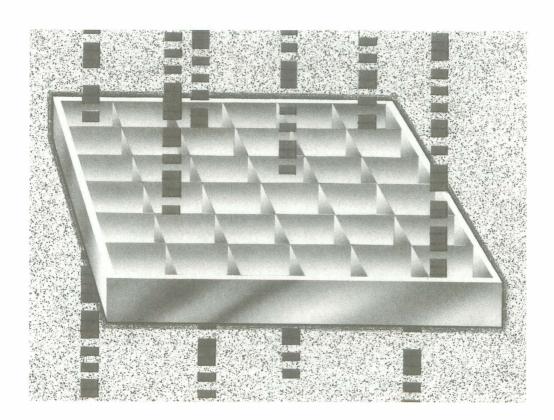
コンピュータ援用設計 (CAD) プログラムはすべて、数値演算コプロセッサを追加すると利点があるが、得られる恩恵は実行される動作によって異なる。イメージや画面再生成などの処理は、コプロセッサを利用すると、約半分の時間で処理される。隠線消去では、10%をやや越えるくらいの向上が見られる。

アプリケーションがなんであれ、通常のデータ 入力作業での性能は、数値演算コプロセッサを追加しても変わらないだろう。標準の DOS オペレーションの速度も変わらない。

コプロセッサを必要とするかどうかは、個人の 選択に任されている。浮動小数点作業が必要なア プリケーションを使っている場合、コプロセッサ を使わないのは馬鹿げている。スプレッドシート の再計算で"ほんの"50%の性能の向上しか得られ なかったとしても、パーソナルコンピュータで、 これほど費用効果のある速度改善策は、ほかには ないのだ。もちろん将来的には、コプロセッサは (最も強力なマイクロプロセッサに内蔵された標準 デバイスとして)不可避的に使用されることとな るだろう。

第5章

メモリ



メモリは、マイクロプロセッサを動作させる上で必要不可欠なものだ。マイクロプロセッサによって処理されるデータはすべて、一度はかならずこのメモリの中に入る。メモリには、これから処理しなければならない未処理データと、その処理の結果のデータの両方が格納される。メモリは、マイクロプロセッサとその周辺装置の間で、情報の橋渡しの役割を果たす、コミュニケーションチャネルであるといえよう。メモリには多くの種類があり、機能と使用されているテクノロジーによって分類できる。パーソナルコンピュータの中では、それらのメモリが、それぞれの特徴を生かし、適切な機能を果たして、有効に使用されている。

真の天才と、利口なだけの人との差は「記憶力」である。機転のきく人は、単に反応が早いというだけだが、真の天才は、自分の記憶と経験と知識とによって、本当の答えを見い出して反応する。コンピュータもまったく同じである。コンピュータは、メモリがなければただのスイッチボードでしかない。メモリがなければ、コンピュータの反応はすべて回路によって構成されなければならないし、プログラムによってデータを読み出したりデータを保持したりすることはできない。電気的には生き続けるが、自律的にしか反応しない、植物のような状態になるのである。

どんなに高速のマイクロプロセッサでも、今すぐに、または後刻使用するプログラムやデータを、即座に格納できる場所がなければ何の意味もない。マイクロプロセッサの内部レジスタは、わずが数ビットのデータしか保持できないため(レジスタに保持されるビットデータは、まるで捕まえても捕まえてもすぐに手からすり抜けてしまう"ウナギ"のようなものだ)、実際に有益な作業を行うプログラムの記憶場所としては、ほとんど用をなさない。メモリの場合、マイクロプロセッサの処理能力に合わせて、数百バイトから数千バイト、ときには、数百万バイトもの容量を持っており、巨大なプログラムのインストラクションのリストや、広大な範囲にわたるデータのブロックでも、十分保持することが可能だ。メモリがなければ、マイクロプロセッサには何の価値もなく、ほとんどが薄過ぎてドアストップの役にもたたないが、メモリがあるだけで、情報革命の使者に変わるのである。

メモリには様々な形態がある。今日のコンピュータに使用されている2 進数記憶システムは、大理石や "マジパン" などのありふれたものから、金属酸化物の半導体まで様々なもので作ることができる。どんな材料で作っても、まったく同様に動作するわけではないが(すぐに分かることだろう)、すべてのメモリは、マイクロプロセッサが認識し、使用できる形式でビット情報を格納するという、共通の基本機能を持っている。ただし、メモリの種類によっては、マイクロプロセッサにとっての、認識や取り扱いの容易さの違いがある。

コンピュータメモリは、アクセスの容易さ、機能、使用されているテクノロジー、容量、 そして速度など、多くの要素で分類することができる。

5.1 一次記憶装置と二次記憶装置

コンピュータのメモリシステムは、2つのタイプ に分けられることが多い。一次記憶装置と二次記 憶装置である。 コンピュータやマイクロプロセッ サから、直接アクセスできるのが一次記憶装置で、 ここに保管されているデータは、つねに使用可能 な状態にある。このタイプの記憶装置は、常時マ イクロプロセッサに接続されていることから、オ ンライン記憶装置とも呼ばれる。この接続方法に より、たとえば、マイクロプロセッサのアドレス ラインを通して、直接アクセスすることも可能で ある。また、このタイプの記憶装置は、任意のデー タ(ランダムデータ)を検索するのに時間を要しな いことから、ランダムアクセスメモリ (Random Access Memory)、略して RAM という名称で呼 ばれることも多い。一次記憶装置は、実際にはコ ンピュータにおいて、短期的に使用する記憶装置 である。これは、アクセスは容易でも、概して容 量が制限されているからである。

長期にわたって情報を保管するコンピュータメモリは、二次記憶装置と呼ばれている。このタイプの記憶装置は、情報を長期間保持できると同時に、コンピュータが処理する膨大な量の情報でも格納できる容量を持っている。二次記憶装置の容量は、一次記憶装置の数十倍、数百倍、時には数千倍のこともあり、この容量の大きさから、しばしば大容量記憶装置(マスストレージ)と呼ばれる。ただし、データは CPU からは切り離された (オフライン) 状態で保管され、コンピュータからは、直接アクセスすることはできないため、二次記憶装置のデータを使用する際には、いったん一次記憶装置に移し換えなければならない。

ビットとバイト

デジタル式のコンピュータシステムでは、メモリは、きわめて簡単な仕組みで動作している。基本的には、コンピュータのメモリが行わなければならない動作は、ビットで構成される情報を記憶して、後で呼び出せるようにすることだけである。

ビットはバイナリデジット(2進数値)を表わす略語で、情報を構成する最小単位である。ビットには、ほとんど知性といったものは存在しない。ビットは、単にあるものについて、オンオフ、上下、ある(1)なし(0)といった状態を表わしているに過ぎない。しかし、十分な数のビットをひとまとめにして扱えば、意味を持った情報をコード化することができる。個々のビットを、必要な量だけ記憶装置に格納することによって、どんな量の情報でも保管し続けることができるのだ。

人間は、コンピュータと同じ方法で記憶するわけ ではない。我々人間なら、複雑な記号でも、1ビッ トを記憶するのと同じくらい簡単だ。また、コン ピュータにとっては2つの選択肢で十分でも、人 間の記憶の仕組みにとっては、選択肢が多いほう が都合がよい。実際、人間にとって、記号の選択肢 は想像力が生み出せる数だけある。しかし、タイ プライターメーカーにとって幸運だったのは、言 語を表わす記号としては、少数の文字しか使って いないことである。26個ずつの大文字と小文字の アルファベット、10個の数字、そして、文法の教 師が一生を捧げるのに十分な種類の句読点である。 これらの文字を2進法で表わすことにより、コン ピュータは驚くほど有益なものになる。これらの 文字すべてをコード化できる2の累乗の最小値は、 128(2の7乗)である。また、8ビットのコードを 使用すれば、最大256個のシンボルを表わすこと ができるようになり、(少なくとも英語を話す人 にとっては) 意味を持たない区分発音符(同一文字 の発音方法を示すのに用いるマーク) や外国語の 文字まで、すべて同じ8ビットコードで表わすこ とができる。このように、8ビットコードは便利 だったため、8ビットはコンピュータの記憶装置 の標準単位になった。これが、現在では普通に使 用されている、バイトと呼ばれる単位である。

少なくとも、パーソナルコンピュータ革命が始まった当初は、エンジニアたちもユーモアのセンスを持っていたようで、1バイトの半分である4

ビットの記憶単位のことを、"バイト"をもじって"ニブル"などと呼んでいた*1。4 ビットは 16 個のシンボルをコード化できるため、ちょうど 10 個の数字と、6 種類の計算(足し算、引き算、掛け算、割り算、べき指数計算、ルート計算)を表わすことができ、携帯用の計算機などの、数字だけを使用する装置には有効な単位である。

ひとかたまりのビットを表わす用語として、一般に使用されているのがワードで、このワードを構成するビット数は、コンピュータがそれを1つのグループとして使用するなら、いくつでもかまわない。しかしコンピュータの分野では、ワードという用語は特定の意味、すなわち、2バイトのデータ(16 ビット)を表わす用語になっている。したがって、「ダブルワード」とは2ワード=32 ビットで構成されているということになる。

1個のビットを記憶するには、実際それが単独で存在しようと、あるいはニブルやバイト、ワード、ダブルワードの一部として存在しようと、コンピュータのメモリ上では同じ状態で記憶される。あるものが正しいか間違っているか、正数か負数か、2進数の1か0かといった、2つの状態のうちの、どちらかを保持するだけでよい。たとえば、大理石は2つの山のどちらにあるのか、マジバンは食べてしまったのか、あるいはまだ棚に飾られ

ているのか、電気の電荷が存在するかしないかな ど、いずれの場合も、どちらか1つの状態を記憶 するだけでよい。

この場合唯一必要な条件は、記憶装置は2つの 状態を記憶することができ、いったんそのどちら か一方の状態が記憶された後は、それをずっと保 持し続けるということである。もし、メモリの要 素が自分勝手に変わってしまうようなことがある と、本来変わらずに保存されるべき情報が、メモ リ内で保持されていることを保証できず、メモリ は何の役にも立たないことになる。

これらの条件に叶う記憶装置は、可能性としてはほとんど無限にあるといえるが、ビットをどのように扱うかによって、メモリの形式に実用性の差が生じる。2つの状態は、それを使用する際のメカニズムに係わらず、容易に変更でき、かつ容易に認識できなければならない。たとえば、目印として指に結び付けた紐は、人間がビットの状態を記憶する際の助けになるかもしれないが、コンピュータにとっては、情報を格納する手段としては不便である。この手段を記憶装置として使うには、それがどんな機械であれ、紐を結ぶための機械式の腕と、紐の結び目を検知するための手段――ビデオカメラ、精密なレーダー、ガスクロマトグラフィ装置など――が必要になるからである。

5.2 RAM

デジタルコンピュータでは、状態を電気的に記憶することができるため、紐や大理石、砂糖菓子をチェックするための"目"や"手"といったものは必要ない。電気的な状態を保持するこのシステムにおいては、2つの状態を電気の電荷の有無によって決めるか、電流の有無によって決めるかのいずれかの方法が利用できる。この2つの方法は、実際に一次記憶装置のコンピュータメモリに使用さ

れている。

電磁気も、電気回路とコンピュータで容易に操作できる。事実、コアと呼ばれる磁気メモリは、第一世代のメインフレームコンピュータにおいては、主要な一次記憶装置であった。このような歴史から、頭の古い人たちの中には、現在でも一次記憶装置のことを、コアメモリと呼んでいる人もいる。しかし今日では、磁気記憶装置は、おもに

^{*1} 訳注 「バイト (byte)」は "bite" (かみつく) の同音異義語。「ニブル (nibble)」には、「ちょっとかじる」などの意味がある。

大容量記憶装置に使われている。これは磁気による記憶のほうが電気による記憶より、読み書きの際にステップが1つ余計に必要だからである。磁気記憶装置だと、ビットを記憶するときには電気を磁気に変換し、読み出すときには磁界を電気パルスに変換しなければならない。この変換のプロセスには、時間とエネルギーと労力が必要になる。これらはいずれも、長期にわたって(強い磁力で)保持する際には必要でも、コンピュータ内部で高い頻度で使用される場合には、少ないほうがよいものである。

一次記憶装置には、1つの重要な特徴がある。基本単位ごとに、任意のデータを即座に検索できるという点である。マイクロプロセッサは、必要なデータを見つける際に、膨大な量の連続したデータを順に読み進んでいく必要はなく、どの記憶単位にも、瞬時に焦点を合わせることができるのだ。この点から、このタイプのメモリはランダムアクセスメモリ(Random Access Memory)と呼ばれている。それよりも。頭文字をとった RAM という呼び名のほうが一般的だろう。

ダイナミックメモリ

今日のパーソナルコンピュータに内蔵されている、最も一般的なメモリとしては、状態を記憶する方法として微小な電荷を使用する RAM が挙げられる。電荷は、小さな "キャパシタ"に格納されている。キャパシタは、基本的には、2 枚の金属プレートの間のわずかな隙間に絶縁体を挟んだ構成になっている。金属プレートの一方に正電荷が加えられた場合、正負の電荷は互いに引き合うため、もう一方のプレートには負電荷が引き寄せられる。2 枚のプレートを隔てている絶縁体は、電荷が混ざって互いに中和してしまうのを防止している。

蓄電プレートの一方に電荷を加えたり、電荷を取り除いたりすることは、コンピュータで制御できるため、キャパシタはコンピュータのメモリとしての役目を果たすことができる。デジタル情報を構成する1つの状態、つまり1ビットは、プレート上の電荷として格納することができるのである。しかしながら、完全な世界であれば、キャパシ

タの2枚のプレートの電荷は、所定の場所に永久に留まっているのだが、現実の世界は不完全であるがゆえに、完全な絶縁体というものはない。いずれの物質でも、電荷がこっそり入り込んでしまう可能性が、つねに存在するのである。この可能性は、絶縁体が良質になるに従って低くなるが、それでも完全に電荷をシャットアウトすることは不可能である。さらに、キャパシタを充電したり放電させる回路によっても、若干の電荷が漏失してしまうのだ。

このように、長期にわたって情報を確実に保持 することを保証できないのであれば、このシステ ムでは、メモリの基本条件を満たせないというこ とになりそうだ。しかし幸いなことに、電荷が消 えてメモリの信頼性が失われるまでの時間、すな わち、キャパシタを基本にしたシステムで記憶で きる時間は、数ミリ秒というわずかなものだが、 これでもメモリとして十分に役に立つのである。 この数ミリ秒という時間は、コンピュータの世界 では十分長い時間で、周期的にキャパシタを充電 して、メモリをリフレッシュするように回路設計 できるため、まったく問題ないのである。この方 式によるメモリは、リフレッシュすることによっ て、定期的に記憶を維持する動作を行わなければ ならないことから、ダイナミックメモリという名 前が付いている。また、このタイプのメモリが集 積化された回路部品を、ダイナミック RAM、略し て DRAM チップと呼んでいる。

パーソナルコンピュータに使用されるメモリでは、金属プレートを持つ実際のキャパシタの代わりに、キャパシタのような働きをする、特別な半導体回路が使用されている。この多数の半導体回路が結合されて、ダイナミックメモリという集積回路チップが作られる。ただし、本当のキャパシタを使用したメモリと同様に、周期的にリフレッシュしなければならない点は、このダイナミックメモリも変わらない。

スタティックメモリ

ダイナミックメモリが、一瞬で消えてしまう電気を捕えて、所定の場所にそれを保持しようとするのに対し、スタティックメモリでは、状態を記

憶させておくために、経路に電流を流し続ける。 記憶しておくべき状態は、2つある電流の移動経 路のどちらか一方を使うことで記録される。スタ ティックメモリは、電流を流したり止めたりでき るスイッチの仕組みで動作しているのである。

事実、スタティックメモリの動作は、ごく簡単な機械スイッチでも実現できる。しかし、そのようなスイッチの場合、ある位置からもう一方の位置へトグルするために、どうしても人間の手や、もしくはロボットなどの自動装置の力が必要になる。

これに対し、電気による制御が可能なリレーと呼ばれるスイッチがある。リレーは、初期のコンピュータのメモリに使用されたテクノロジーの1つである。リレー回路は、「ラッチ機能」を持っているのが一般的で、リレーに電圧を加えることに

よってリレーが動作し、これによって電気の流れが、止まった状態から流れる状態へ切り換わる。電気の流れの一部は、リレーのオン状態を維持するのに使用される。このようなタイプのリレー回路は、ドアの掛け金と同じで、信号という力が変化を生じさせるまで、つまり、ドア(すなわち回路)が開けられるまで、ロックされた状態を維持する。

スイッチの役目を果たすトランジスタを、ラッチとして働くように設計することもできる。スタティックメモリチップは、このトランジスタを多量に使用した回路を結合し、小型化して作られている。スタティック RAM は、コンピュータ関連の技術者の間では、SRAM と略して呼ばれることが多い。

5.3 ROM

リレーラッチとトランジスタラッチは、どちら もラッチされた状態を維持するには、つねに電流 の供給を受けていなければならない。どちらも電 流の供給が滞ると、ラッチが緩み、回路は記憶を 失ってしまう。同様に、ダイナミックメモリも、定 期的にリフレッシュされないと、記憶していた内 容を忘れてしまう。どちらのタイプのメモリにし ても、回路から電流を取り除くと、一瞬にして、 保持していた情報は消失してしまい、後には何も 残らないのである。この特性から、これらの電気 に依存したメモリシステムは、揮発性メモリと呼 ばれている。電気の絶え間ない供給は、これらの メモリが、もとのままの状態を維持するのに必要 不可欠なものである。これらのメモリは、電気を 失うとともに、保持していた内容も失ってしまう のだ。

すべてのメモリが、保持する内容を変更できる 性質を持っている必要はない。たとえば、初恋の思 い出、12宮の星座の名前、化学の試験の答えなど のように、忘れずに憶えておきたいことはたくさ んある。電源ラインの気まぐれの影響を受けずに、 重要なことを特別に記憶しておくことができれば、コンピュータはもっと便利になる。コンピュータにおいて、これらの半永久的に記憶しておくべきことの中で最も重要なのは、プログラムコードであろう。プログラムコードは、マイクロプロセッサに対して、マイクロプロセッサがコンピュータの一部であるということや、その任務の実行方法を教えるものだからだ。

リレーという旧式の世界なら、ハンマーを注意深く使用してリレーを壊してしまえば、メモリをある状態に、永久に保つことができる。半導体の世界でも原理は同じだが、プログラミングの手段はいくぶん異なる。この場合唯一必要なのは、切り換えを行わないスイッチ、もっと正確にいえば、いったん電気が流れたら二度と動かなくなるスイッチである。

このような永久メモリは、コンピュータにとって たいへん有益であり、読み出し専用メモリ(ROM: Read Only Memory)と呼ばれて、様々な種類の ものが開発されている。 "読み出し専用"とは、こ のタイプの記憶装置は、インストールされている コンピュータ側からは、新しいコードを記憶させることができないという意味である。そのメモリの中にすでに存在しているデータのみ、読み出すことができるのである。

このメモリに対して、マイクロプロセッサによって読み出しだけでなく、書き込みも行えるメモリを、読み書きメモリというが、この用語はめったに使用されることはない。読み書きメモリは、RAMという名前で呼ばれるのが普通だ。

マスクROM

ROM チップに、コンピュータから書き込みが行えないとすると、ROM 内部に格納する情報は、それ以外の場所から持ってこなければならない。マスク ROM と呼ばれるメモリチップでは、情報は製造時に書き込まれる。 "マスク"とは、製造時にチップ上に様々な回路要素を引くために使用される、マスタパターンのことだ。チップの回路要素をシリコンで構成するときに、記憶させたい情報をパターンの中に組み込む。ハンマーなどを打ち付けたり、何らかの同様の力で壊されない限り、このメモリに含まれている情報は何者によっても変更されることはない。

マスク ROM は、パーソナルコンピュータの世界では一般なものではない。これは、チップの製造時にプログラムを決定しなければならず、変更も容易ではないからだ。また、製造の際に最低限必要とされる数量が多いため、あえて製造することが躊躇されるからである。

PROM

マスク ROM に代わるものとして、書き込み可能読み出し専用メモリ (PROM: Programmable Read-Only Memory) がある。このタイプのメモリ回路は、ヒューズのような働きをする要素で構成されている。ヒューズとは、過度に多量の電流が流れると、オーバーヒートして溶けて電流の流れを中断し、装置や配線の負荷がかかり過ぎるのを防ぐもののことだ。通常、PROM のヒューズは、家庭の電気事故を防ぐヒューズとまったく同じように電気を伝える。また、ヒューズが飛ぶと電気の流れが止まるという仕組みも、普通のヒューズと

同じである。ヒューズを切るために必要な電流は、「PROM プログラマ」とか「PROM バーナー」と呼ばれる、特別な装置によって供給される。PROM チップは、すべてのヒューズが無傷のままで製造、出荷され、後からチップ内部にコード化するソフトウェアの必要に合わせて、PROM プログラマを使用してヒューズを切り、一定のアプリケーション用にカスタマイズする。このプロセスを、一般に「PROM を焼く」といういい方をする。

大火事と一緒で、PROMを焼くことによって生じる結果は、永久不変である。PROMチップは、いったん焼いて書き込まれた内部のプログラムを、更新したり修正したりすることは一切できない。PROMが、移り気な人や、移り変わりの激しい業界用のものでないことだけは明らかだろう。

EPROM

しかし幸いなことに、新たな技術によって、PROMに代わる便利なものが生まれた。消去書き込み可能読み出し専用メモリ(EPROM: Erasable Programmable Read Only Memory)チップである。EPROMは、一種の自然治癒半導体のようなものであり、内部データは消去可能で、新たなデータやプログラムを繰り返し書き込むことができる

EPROMは、パッケージの上部中央に透明な窓があり、チップ内のデータは、この窓から入る強い紫外線の光によって簡単に消去される。このため、通常この窓は、ラベルのようなもので覆われている。うっかりこの窓から光が入り込むようなことがあると、チップのデータは一瞬のうちに消えてしまうのだ(普通の部屋の明かりには紫外線がほとんど含まれていないため、これでチップのデータが消えてしまうことはないが、日光の場合は紫外線が含まれているので、EPROMのデータを消すことができる)。EPROMは汎用性があり、永久メモリでありながら、再プログラミングも簡単に行えるため、多くのパーソナルコンピュータで使用されている。

EEPROM

EPROM の一種であるメモリチップに、EEPROM

(Electrically Erasable Programmable Read -Only Memory、普通は"ダブルE-PROM"と呼ばれる)がある。EEPROM は、データを消去するのに紫外線の強い光源は必要なく、通常より高い電圧(および電流)があればよい。電気で消去できるという性質はとても有益である。というのは、このおかげで、EEPROM はソケットから外さなくても、消去して再プログラミングできるからだ。EEPROM は、コンピュータやその周辺機器のような電気デバイスに、電気を絶え間なく供給しなくても、データを格納できる手段を与えたのである。

EEPROMには1つ重大な欠点がある。消去できる回数が制限されているのだ。大抵のEEPROMチップは、数十回、数百回、数千回といった程度の消去と再プログラムの繰り返しには耐えられるが、一度の使用で数千回もの変更を行う可能性のあるコンピュータの記憶装置としては問題がある。さらに、EEPROMチップのデータの消去方法がこの問題を悪化させている。好きなときに、どのビットでも変更できる普通のRAMチップとは違って、EEPROMの書き換えは、一旦すべての内容を消去してから、すべてのビットを再度書き込み直すと

いう方法で行われるのである。つまり、EEPROM の場合、どれか1つのビットを変更するだけで、すべてのビットの寿命を1回分減らさなければならないのである。

フラッシュRAM

EEPROM にさらに改良を加えたのが、フラッシュRAM である。フラッシュRAM は、消去の際に特別な高電圧は必要なく、コンピュータ内部の通常の電圧で消去、書き込みができる。しかし残念ながら、フラッシュRAM も EEPROM と同様の制約がある。普通の EEPROM よりは長いが、寿命に限界があり、すべてではないがほとんどの場合、ブロック単位で消去と再書き込みを行わなければならないのである。

それでもフラッシュRAMは有用で、多くの会社がフラッシュRAMを使ったディスクエミュレータを開発している。ただし、これらのエミュレータは、操作を最大限に効果的にし、寿命を最も長くするために、消去と再書き込みの反復回数を最小限に抑える、特別なオペレーティングシステム(あるいは普通のオペレーティングシステムで、これに対応したバージョン)が必要である。

5.4 メモリの働き

メモリのタイプにかかわらず、つまり、RAMであろうと ROMであろうと、あるいはダイナミックメモリであろうとスタティックメモリであろうと、また消去可能タイプであろうとフラッシュメモリであろうと、その働きの仕組みは同じである。メモリは基本的に、郵便局で市内郵便を分類するのに使用されている整理棚を、精巧にしたようなものである。アドレスと呼ばれるメモリロケーションが、格納される情報の最少構成要素のひとつひとつに割り当てられている。各アドレスは、整理棚の「ます」に相当し、アドレスは1単位ごとの記憶場所の位置を表わしている。ただし、アドレスは呼び名のようなもので、それ自身は記憶場所で

はない(実際には、小さな電子キャパシタ、電子 ラッチ、電子ヒューズなどが記憶場所になる)。

アドレスは、ほとんどの場合バイナリコードで表わされるため、コードに使用できるビット数によって、直接アクセスできるアドレス数が決まる。たとえば、8 ビットのアドレスコードなら 256 (2の8乗=256)のメモリロケーションが可能であり、同様に16 ビットのアドレスコードでは16,256 (2の16乗=16,256)の位置を個別に特定できるわけだ。使用可能なアドレスコードのビット数は、マイクロプロセッサのアドレスラインの数と一致するのが普通だが、実際にはそれほどの数は必要ない。

各メモリロケーションに格納されるデータの量

は、基本となる記憶単位によって決まり、その記憶単位はコンピュータシステムの設計によって決まる。一般的に、各ロケーションには、コンピュータが1回で処理するのと同じ数のビットが含まれる。したがって、8ビットコンピュータ(初代のPCなど)では1バイト、32ビットマシンではダブルワードが1つのアドレスに保管されるわけである。

現在、Intel の 32 ビットマイクロプロセッサ(386 と 486)が個別にアドレス指定できる最小単位は、実際には 4 ダブルワード、つまり 16 バイトで、Intel はこの単位を *1 メモリライン" と呼んでいる。これらのコンピュータは、下位 4 本のアドレスラインは無効になっているので、これより小さなメモリ単位を個別にアクセスすることはできない。

IBM の標準に従っているコンピュータのほと んどは、実際には記憶単位として、前述の例より も多くのビットを使用している。IBM はパリティ チェックビットと呼ばれる特殊なビットを、すべて のバイトに追加している。このパリティチェック ビットは、メモリに格納されたデータが完全な状 態であることを、コンピュータが照合するために 用意されているものである。1バイトがメモリに 書き込まれるとき、そのデータが格納されている 8個のビットとパリティチェックビットの合計が、 つねに奇数か偶数のどちらかになるように、パリ ティチェックビットの値は1か0にセットされる。 メモリが読み出されるたびに、コンピュータは各 バイトの9個のビットを合計し、合計の奇偶が変 化していないかどうかを検証する。万一合計の奇 偶が変わっていると、バイトの中のあるビットが、 何らかの理由で変化したことが分かるため、記憶 されているデータは無効にされる。

誤ったデータをそのまま保持しておくと、たとえば、間違った額の給与が支払われる、間違った在庫数が報告される、壊れかかった橋が造られる、といったような可能性もでてくる。IBMは、システムが壊れることによって情報を失うことよりも、この方が問題が大きいと考え、ほとんどのコンピュータを、間違ったパリティが発見されたら、即座にシャットダウンする設計にしている。システムが、マザーボード上のメモリに間違ったパリティを発見すると、システムは自動的にモニタ画

面に "Parity Check1"という不吉なメッセージを表示し、システムの動作をストップする。拡張ボード上のメモリに同様のエラーを発見した場合は、同様の処理がなされ、 "Parity Check2"と表示される。

パリティチェックでは、1バイトの中のどれか1 ビットがエラーを起こしていることしか検出できない。しかし、もっと精巧なエラー検出回路があれば、もっと複雑なエラーも検出できる。さらにその回路が適切に搭載されていれば、システムをダウンさせることなく、1個のビットのエラーを修正することも可能である。Error Correction Code (ECC)と呼ばれる回路は、その最も効果的な方法で、1バイトごとに3ビットを加えることによって、システムはメモリエラーが発生したことが分かるだけでなく、変化した1個のビットの位置を見つけて、エラーを取り除くこともできる。

IBMでは、PCよりも大型のコンピュータに ECCを採用している。IBMのエンジニアは、PCのメモリは小さく、十分に信頼性もあると考え、ECC用のビットのために費用が余分にかかってしまうのは不適当と判断したのである。しかし現在では、システム全体のメモリ容量は16Mを超えて拡張されており、いくつかのパーソナルコンピュータでは、メモリシステムにECCが標準装備されている。

メモリチップは、マイクロプロセッサのアドレスラインには直接接続されていない。代わりに、専用の回路から成るメモリコントローラがあって、メモリアドレスレジスタに送られる2進数データを、要求されたメモリロケーションを表わしたり、そこにあるデータを検索できる形式に変換している。メモリコントローラには、簡単なアドレス解析を行う論理回路から、いくつかのメモリ拡張機能を備えた精巧なASICチップまで、さまざまな形態のものがある。

メモリを読むとき、マイクロプロセッサは、必要なメモリロケーションに対応するアドレス値を、1個のクロックサイクルの間にアドレスラインに出力する。この動作は、メモリコントローラに対して、必要なデータを見つけるように要求する役目を果たしている。メモリコントローラは、その

次のクロックサイクルの間に、要求されたロケーションに格納されているデータを、マイクロプロセッサのデータバスに出力する。メモリコントローラは、クロックサイクルの終わりでないとアドレスコードが有効であることを判断できない。同様に、マイクロプロセッサは次のクロックサイクルの終りまで、データが有効であることを確認できないため、メモリの読み出し動作には、少なくとも2クロックサイクル必要である。

メモリへの書き込みも同様に行われる。つまり、マイクロプロセッサは最初に書き込むべきアドレスを送り出し、メモリコントローラが整理棚の中からそのアドレスに対応する「ます」を見つけると、

マイクロプロセッサが書き込むデータを送り出す のである。また、必要な最小時間がクロックの2 サイクル分である点も同じである。

しかし、マイクロプロセッサのテクノロジーが、今日のDRAMチップの能力をはるかに超える性能にまで押し進められたため、読み出しや書き込みは、実質的には2サイクルより長い時間がかかる場合がある。遅いシステムメモリを使っていると、マイクロプロセッサやそのほかの部分は、メモリが追い付くまでの間停止しなければならず、メモリの読み書きサイクルを1クロックもしくはそれ以上引き伸ばすことになる。

5.5 メモリスピード

メモリスピードが遅い問題は、IBM が 286 マイクロプロセッサを搭載する、最初の AT マシンを発表した時点で明らかになった。普通のメモリチップでは、このマイクロプロセッサの速さ (1984 年では標準的) に付いていくことができなかったのである。286 側が、かなり短い命令サイクルでデータを要求できるのに対し、メモリはそれに応じることができない。このため、マイクロプロセッサがメモリにデータを要求するときに、ウェイトステート (待ち状態) を追加する必要があったのだ。

ウェイトステートは、メモリが回路に追いつく 時間を与えるために、マイクロプロセッサが、実 行中の作業すべてを1クロックサイクル以上の間 中断する状態である。必要なウェイトステートの 数はシステムごとに変わるが、これは、メモリの 速度とマイクロプロセッサの速度の関係によって 決まる。

マイクロプロセッサの速度は、通常 MHz 単位で表わされる。これに対し、メモリチップの速度はナノ秒、つまり 1 兆分の 1 秒という時間の単位で表される。この 2 つの単位は互いの逆数である。1 MHz の速度の場合、1 クロックサイクルは 1,000ナノ秒である。8 MHz は 125ナノ秒、16 MHz は

62.5 ナノ秒、20MHz は 50 ナノ秒、25MHz は 40 ナノ秒ということである。

DRAM チップには決められた定格速度があり、チップのパッケージに記されるモデル名の後ろに、その値を示す数字が付いているのが一般的である。この数字は、チップのアクセス時間をナノ秒で表わしたもので、1桁目の"0"は、表示を短くするために省略されている。したがって、"-12"と表示されているチップは、アクセスタイムが120ナノ秒ということである。

これがチップの速度にとって長所を表わす数だったら、今日のコンピュータのほとんどは何の問題もなかっただろう。しかし、現実には、この速度によって大きな問題が生じたのである。たとえば、25MHzでは1クロックサイクルは40ナノ秒であり、マイクロプロセッサはメモリ操作に少なくとも2サイクル必要なので、合計で80ナノ秒必要ということになる。一方、70ナノ秒の定格のチップは、入手も容易で値段も比較的安い。一般に、マイクロプロセッサが要求する速度より速いチップをインストールしても問題はない。たとえば、80ナノ秒の部品が必要なシステムに70ナノ秒のチップを搭載してもよい。唯一の弊害は、高速な

チップは概して値段が高く、必要のない速度にお金を払うことになってしまうということだけである。逆に、要求される速度より遅いチップを使用すると、まったく動作しないか、多くの場合は散発的にしか動作しないため、突発的に発生するパリティチェックエラーに対して、抵抗力のない状態になってしまう。

しかし、アクセス時間は、メモリチップの速度を表わす値として、唯一のものでも、また最も重要なものでもない。メモリチップの速度をもっと適切に表わしているのは、サイクル時間である。サイクル時間は、同一のチップに対して2回の連続アクセスをどのぐらいの間隔で行うことができるかを測定したもので、一般にサイクル時間はアクセス時間の約2倍から3倍である。したがって、70ナノ秒のDRAMチップでも、25MHzのコンピュータでは信頼性のある使用は不可能ということになってしまう。

スタティック RAM チップは、リフレッシュする必要はまったくない。このため、このチップのアクセス時間はサイクル時間と同じであるほか、アクセス時間そのものも DRAM チップよりも短いのが一般的だ。最も高速で一般的な DRAM チップの定格が 60~70 ナノ秒であるのに対し、スタティックチップは 25~35 ナノ秒のものが容易に入手できる。ただし、残念ながら、スタティックチップは DRAM よりかなり高価なため、コンピュータの一次記憶装置として使用されることはまれである。

DRAMメモリチップの速度制限の対策として、コンピュータメーカーは自社のメモリシステムに様々な設計を採用している。最も単純な方法は、可能な限り高速なチップを使用することだが、現在最も高速なDRAMチップでも、50MHzや66MHzのマイクロプロセッサの速さには遠く及ばない。これ以外にとりうる対策は、必要なだけウェイトステートを挿入することだが、これは、高速化を目指していることに逆らって、速度を落とす結果になる。1つウェイトステートを課すことで、通常のメモリサイクルが2サイクルから3サイクルに伸びる。これは性能にとって大きな打撃だ。1つウェイトステートが課されると、コンピュータは、

最高速度の3分の2の速さでしか動作できなくなるのだ。さらにウェイトステートが2個になると性能は半分になってしまう。

ページモードRAM

メモリがマイクロプロセッサの速度に追い付かなくなる問題の解決方法は、メモリの技術開発に目を向けることによって、見出すことができる。ダイナミックメモリとスタティックメモリの特長を兼ね備えた特殊な RAM チップがあれば、ウェイトステートによって損なわれる性能の影響を少なくすることが可能だ。このような方法として、2つの応用技術がコンピュータに使用されている。ページモード RAM とスタティックカラム RAM である。

ページモード RAM チップでは、ウェイトステートなしで記憶情報の一部分(全部ではない)を読み出すことができる。このチップはアドレッシング範囲全体を、「ページ」と呼ばれる小さなセクションに分けており、各ページはウェイトステートを課されることなく、個別に繰り返しアクセスすることができる。異なるページ間での連続アクセスにはウェイトステートが必要になるが、同じスピードの標準 DRAM が必要とするほどではない。

スタティックカラム RAM チップでは、メモリは横列と縦列に分割され、縦の同一列内の連続アクセスは、ウェイトステートなしで行うことができる。一方、2列にまたがって実行されるメモリアクセスにはウェイトステートが必要となる。

技術的には、ページモード RAM とスタティックカラム RAM は別個のものである。スタティックカラム RAM の配列では、メモリは論理的に二次元配列としてレイアウトされており、連続したメモリビットは、縦の同一列内の隣接した横列に並べて配置される。一方、ページモード RAM チップは、チップ全体の領域を、通常 1ページあたり 2K ビットの容量を持つ何枚ものページに細分している。これら 2 種類のチップは、このように物理的な差異があるにもかかわらず、ほとんどの実用的なアプリケーションでは、まったく同じ結果を生じる。つまり、どちらのチップも、一定範囲内で繰り返されるアクセスなら、ウェイトステート

なしで実行できるのである。コンピュータの動作では、ほとんどの時間、プログラムが順番にデータを必要とする(次の命令コードや隣り合うデータを要求する)ことを考えると、ウェイトステートを削減するこれら2つの技術は、このようなプログラムにとくに有効であるといえる。この場合、60%以上のウェイトステートの削減が簡単に達成できる。

スタティックカラムメモリやページモードメモリを使ったシステムの性能は、使用されるページまたはカラムのサイズによって決まる。ページのサイズが大きくなれば、メモリの次のビットが、そのページの中に存在する可能性が高くなり、したがって、ウェイトステートなしで読み出せる可能性が高くなる。この場合、性能が劇的に向上する可能性がある。大抵のプログラムでは、実行時間の大半は、2Kビットのページの範囲内で実行されている。したがって、システムの全体的な性能は、システムの RAM をすべてスタティック RAM にした場合と同程度の速度にまで向上する。

バンクメモリ

インタリーブメモリと呼ばれる巧妙な技術は、 逐次のメモリアクセス時にスピードが向上する点 では、ページモード RAM に似ているが、分割す るページは小さなサイズに制限されない。インタ リーブメモリは、システムの RAM 全体を 2 個以 上のバンクに分割することで動作している。連続 したビットは、2個以上のバンクに分かれて格納 されるため、マイクロプロセッサが逐次バイトを 読む場合は、バンクの間を行き来することになる。 1つのバンクが読まれている最中も、ほかのバン クを循環して次のビットを読んでいくため、マイ クロプロセッサが待機せずに済むのである。もち ろん、マイクロプロセッサが、論理的に隣接して いないビットを読む必要が生じた場合は、マイク ロプロセッサがウェイトステートに出会うかどう かは確率の法則に左右される。

典型的なインタリーブメモリのシステムでは、システム RAM は 2 バンクに分けられているため、ウェイトステートに出会う確率はおよそ 50%である。4 ウェイインタリーブならウェイトステート

を 75%減少させることができる。

インタリーブメモリは特殊なメモリチップを必要としないため、システム動作をスピードアップさせる方法の中で、最も現実的なものといえるだろう。また、メモリインタリーブの技術とページモード RAM とを組み合わせることで、システムの性能を一層向上させることも可能である。もちろん、2 ウェインタリーブを構成するには、偶数個のメモリバンクが必要である。現在の32 ビットマイクロプロセッサの場合、1 バンクの最小容量は通常 4M バイトである。したがって、このようなシステムでは、単純な2 ウェインタリーブを行うには8M バイト、4 ウェイインタリーブには16M バイトのメモリを必要とする場合が多い。

メモリキャッシュ

現在、最も高性能なマイクロプロセッサに採用さ れているメモリ最適化(高速化)技術では、メモリ キャッシュが最も一般的である。メモリキャッシュ では、マイクロプロセッサと一次記憶装置の大部 分との間に、1組の高速なメモリ(通常は高速スタ ティック RAM) が設けられる。キャッシュコント ローラと呼ばれる特殊な回路は、このキャッシュ メモリ内に、マイクロプロセッサが次に要求する 確率が最も高いデータまたはインストラクション を、常時格納させようとする。マイクロプロセッ サが求める情報が、キャッシュの SRAM の中に保 持されていれば、その情報はウェイトステートな しで読み込むことができるのだ。この最も高速な 動作ができる状態をキャッシュヒットという。一 方、必要なデータがキャッシュメモリにない場合 は、通常の RAM から通常のアクセス速度で検索 されることになるが、この状態をキャッシュミス という。メモリキャッシュにも様々なものがあり、 それぞれは、サイズ、論理的な配列、ロケーショ ン、動作の点に違いがある。

キャッシュの効果は、キャッシュが保持できる情報の量によっておおむね決まる。キャッシュのサイズが大きくなれば、そこに含まれるデータも多くなり、必然的に、必要なときに必要なバイトがそこにある確率も高くなるわけだ。最も理想的なキャッシュのサイズは、システムメモリ全体と同

じ大きさで、システムメモリを完全にコピーしたものであることは明らかだが、同時にそのように大きいキャッシュでは意味がなくなる。一次記憶装置としてキャッシュそのものを使うことができるなら、そもそも何の問題もないのである。一方、最小のキャッシュサイズは1バイトだが、この場合キャッシュ内に、次に必要なデータがないことは確実であり、これもまた意味がない。実用的なキャッシュの容量は、8Kバイト(486マイクロプロセッサが内部的に使用しているものと同じ大きさ)から1Mバイトで、現在では256Kバイト前後のキャッシュがよく使用されている。

容量の大きいキャッシュの欠点は、コストである。高速な SRAM チップは必然的にコストが高く、これを使用すればシステム全体のコストが上昇する。このため、メーカーの中には、最初は小さなキャッシュを搭載しておき、後で余裕ができたときにユーザー自身が SRAM を追加できるように、増設可能なキャッシュをオプションにしているところもある。新しい 486 マシンを買った後で、いずれはキャッシュを可能な限り拡張してみたいと思っている人なら、こういうシステムは検討の価値があるだろう。

キャッシュの論理的な構成には、キャッシュ内のメモリの配置の方法や、アドレスの方法が含まれる。つまり、マイクロプロセッサが、キャッシュ内に必要とする情報があるかないかを調べる方法のことである。この方法は大きく3つの種類に分れる。ダイレクトマップ方式、フルアソシエイティブ方式、セットアソシエイティブ方式である。

ダイレクトマップキャッシュは、高速な SRAM のキャッシュを「ライン」と呼ばれる小さな単位(Intel の 32 ビットマイクロプロセッサが使用する記憶装置の「ライン」と同じ)に分割するもので、各ラインはインデックスビットで識別される。メインメモリは、キャッシュと同じサイズのブロックに分割され、キャッシュのラインはそのメモリブロック内の各「ロケーション」に対応している。各ラインは異なるメモリブロックから引くことができるが、キャッシュのロケーションに対応したロケーションに限られる。どのブロックからラインが引かれているかは「タグ」で識別される。キャッシュ

コントローラ (常時キャッシュを監視している電子回路) にとっては、ダイレクトマップキャッシュに特定のアドレスのデータが格納されているかどうかを判断するのは簡単である。決まったインデックスの値に対するタグをチェックするだけでよいのだ。ダイレクトマップキャッシュに伴う問題は、異なるブロックに存在する、同じインデックスを持った複数のアドレス間を、プログラムが規則的に移動すると、キャッシュを絶えず書き換えなければならないという点である。これはキャッシュミスが頻発することを意味する。こういう動作がつねに起こるわけではないが、ダイレクトマップキャッシュの速度を低下させるのは確かだ。

これと反対の設計方法が、フルアソシエイティブキャッシュである。この設計では、キャッシュの各ラインは、メインメモリのどの部分にでも対応させることができる。メインメモリ全体の様々なロケーションから引かれたデータは、キャッシュの中に連続して溜め込むことができる。フルアソシエイティブ方式の大きな欠点は、マイクロプロセッサからのメモリ使用要求がヒットかミスか判断するために、キャッシュコントローラが、キャッシュのすべてのラインのアドレスを照合しなければならないことである。

ダイレクトマップキャッシュとフルアソシエイ ティブキャッシュを折衷した方式が、セットアソシ エイティブキャッシュである。これは、キャッシュ メモリ全体をいくつかの小さなダイレクトマップ エリアに分割するもので、分割する個数 (way) が 名前の頭に付けられて表わされる。たとえば、「4 ウェイセットアソシエイティブキャッシュ」といえ ば、4個の小さいダイレクトマップキャッシュに相 当するものである。この方式を採れば、同一のイ ンデックスで異なるブロック間を移動する場合の 問題が解決できる。ということは、セットアソシ エイティブキャッシュは、ダイレクトマップキャッ シュより性能の点で多くの可能性を持っていると いうことになるが、残念ながら、セットアソシエ イティブキャッシュは複雑で、搭載するには費用 が高いという問題がある。さらに、キャッシュを 分割する数が多くなるに従い、キャッシュ内部に 必要な情報が存在するかどうかを決定するために、

キャッシュコントローラが行う検索の時間も長くなる。これは結果としてキャッシュの速度を低下させることになり、セットに分割する利点もなくなる。ほとんどのコンピュータメーカーでは、4ウェイセットアソシエイティブキャッシュが性能と複雑性の間における適当な妥協点であるという結論に至っている。

キャッシュは、マイクロプロセッサに内蔵される 場合と、外部に搭載される場合がある。内部キャッ シュは一次キャッシュ(プライマリキャッシュ)と 呼ばれ、486シリーズのマイクロプロセッサの8K バイトのキャッシュのように、マイクロプロセッサ の回路内に組み込まれる場合が多い。一方、外部 キャッシュ (セカンダリキャッシュ、二次キャッシュ)は、外部キャッシュコントローラとメモリチップ を使用する。一次キャッシュは、マイクロプロセッ サの内部回路に直接接続されるため、二次キャッ シュよりもスピードアップの可能性が大きい。た とえば、486マイクロプロセッサでは、内部キャッ シュとマイクロプロセッサの間のデータパスは、 1ライン(16 バイトすなわち 128 ビット)の幅があ る。キャッシュとマイクロプロセッサ間の転送に2 サイクル必要である点は変わりないが、この2サ イクルの間に16バイトも転送できるわけである。 これに対し、外部キャッシュの場合は、486マイク ロプロセッサには32本のデータラインしかないた め、同じ128ビットでも転送に必要なサイクル数 は4倍(8サイクル)になる。

このため、二次キャッシュの中には、128 ビットのバスを持つものがある。これにより、486 の効率的なアドレッシングモードを利用して、アドレスサイクルをはさまずに、4回の連続したデータ転送が可能になる。つまりこの場合は、キャッシュデータをマイクロプロセッサに転送する際に要するサイクル数が、8 サイクル(4回のアドレス指定と4つのデータサイクル)ではなく、5 サイクル(1回のアドレス指定と4回のデータ転送)なのである。しかしそれでも、内部キャッシュのほうが、この先進のアドレッシングモードよりも2対5の割合で性能が優っている。

一次キャッシュの欠点は容量にある。486 マイクロプロセッサの8Kの内部キャッシュは、チップ面

積のおよそ3分の1を占める。マイクロプロセッサを大きくすると、製造費用が恐ろしく高額になるため、これは大きな問題である。

一次キャッシュは、機能的にはインストラクションキャッシュとデータキャッシュに分かれている。インストラクションキャッシュは、マイクロプロセッサのインストラクションのみを格納し、データキャッシュはデータのみを保持している。このように機能を分離することで、性能全体を向上させることができるため、Motorolaのいくつかのマイクロプロセッサでは、この方法が効果的に用いられている。Intelの486は、データとインストラクションで1個のキャッシュを共用している。

キャッシュは、メモリへの書き込みの処理方法でも分類できる。ほとんどのキャッシュは、書き込み動作のスピードアップはせず、書き込みコマンドをキャッシュで即座に実行し、キャッシュとメインメモリに同時に(通常のウェイトステートによる遅れはあるが)書き込みを行っている。このライトスルーキャッシュ方式は、メインメモリとキャッシュの内容が一致していることが絶えず保証されている点で、確実な方法といえよう。

これに代わる高速な方法がライトバックキャッ シュ方式である。この方法では、マイクロプロセッ サがキャッシュメモリに変更を書き込み、キャッ シュコントローラは時間の許す限り、その変更を メインメモリに書き戻すということが行われる。 ライトバックキャッシュで問題が生じるのは、メ インメモリとキャッシュが、同じメモリロケーショ ンに割り当てられている異なる内容を保持する場 合である。たとえば、マイクロプロセッサが関与 しない制御システム (DMA システム) で、ハード ディスクの読み出しとメモリへの情報の転送が行 われる場合などがこれにあたる。キャッシュコン トローラは、メインメモリの内容に変更がないか どうかを絶えずチェックし、キャッシュの内容がメ インメモリの変更に対して同様に変更されている ことを確認しなければならないが、この「スヌー ピング機能」をコントローラに持たせると、コン トローラの設計は複雑になり、当然チップの値段 も高くなる。とはいえ、最大限の性能を実現する ためには、ライトバックキャッシュは最適な設計 といえるだろう。

この解決策として採用されているのが、キャッシュを監視する全責任を、それ用に設計された専用回路に任せる方法である。コンピュータを取り巻く市場には、たくさんの種類のキャッシュコントローラチップがあり、また、チップセットの中にも、メモリキャッシュ機能を自らの回路に組み込んでいるものがある(8章参照)。

ビデオメモリ

メモリアクセスの問題は、とくにビデオシステムに見られる傾向がある。ディスプレイシステムにおいて、メモリは、画面上のイメージを各画素に割り当てられたメモリ単位(1ビットか1バイト、あるいは数バイトの場合もある)で、デジタル形式で格納するフレームバッファとして使用される。格納されているイメージがモニタの画面に表示されている間、フレームバッファの全内容は1秒間に44~75回読み出されている。そしてその間も、コンピュータは、画面に表示させたい新しい画像の情報を、バッファに書き込もうとしているはずである。

普通の DRAM チップを使用すると、これらの 読み書き動作は同時に実行できない。2 つの動作 は、かならず互いに相手の動作が完了するのを待 たなければならない。この待ち状態は、ビデオの 性能、システムのスピード、そして実際の操作感 にマイナスに作用する。

このウェイト (待ち状態) は、斬新な設計の工夫を施した特殊なメモリチップを使用することによって回避できる。このメモリチップには、ひとつひとつの格納場所にアクセスするパスが2つあり、この2つのパスを使用して、2つのドアがある倉庫のように機能する。マイクロプロセッサは、ビデオシステムが一方のドアから倉庫の中のデータを取り出している間、もう一方のドアから倉庫の中へデータを入れることができる。正確にいえば、このメモリは2つの形態をとることができるのだ。本当のデュアルポートメモリは読み書きが同時に行える。つまり、ビデオメモリチップ(ビデオ RAM、略して VRAM と呼ばれる)では、一方のアクセスポートは、完全に読み書き両方のラン

ダムアクセス用にあてられ、もう一方は、逐次読み出ししか行わないようになっている(ビデオイメージはスキャンニングが必要なため)。

メモリの配置

半導体技術ではなく、システムの設計に起因するメモリスピードの問題もある。メモリの配置場所や、マイクロプロセッサへの接続方法が、メモリの性能に劇的に影響を与えることがあるのだ。

メモリは、マイクロプロセッサのローカルバスに接続されるのが普通である。これは、メモリがマイクロプロセッサと同じクロックスピードで動作し、マイクロプロセッサのデータバスと同じ幅でバスと接続されているということである。メモリを拡張する十分なスペースがない多くのマザーボードでは、拡張メモリをドーターボードの形で搭載している。このドーターボードとマザーボードの接続は、マイクロプロセッサと同じスピード、同じバス幅で動作する専用の接続を用いる方法でも、ISAやEISA、マイクロチャネルのような標準拡張バスを介する方法のどちらでも可能である。

前者のメモリボード(専用メモリボードと呼ばれ る)は、一般に拡張メモリの性能に不利益を及ぼす ことはないが、後者の形式のボードでは、8MHz の AT 互換機以上の性能を持つシステムすべてで、 大きな不利益が発生する可能性がある。高速なマ シン (8MHz以上の速度で動作するマイクロプロ セッサを搭載したもの)は、拡張スロットの形でメ モリが追加されると、厳しい弊害を被るのだ。こ れは、マイクロプロセッサが高速化されているに もかかわらず、スロットは通常 8MHz 程度の速度 で動作するため、このアドインメモリにアクセス する際には、システムのスピードを8MHzにまで 減速しなければならないからである。たとえば、 66MHzのマシンの場合など、拡張ボードのメモ リにアクセスするときには、8分の1まで減速し なければならない。

また、386DX や 486 マイクロプロセッサでは、 16 ビットの幅しかない ISA バススロットにメモ リを接続すると、システムはさらなる減速が強い られる。メモリバスはマイクロプロセッサのデー タバスの幅の半分しかないため、メモリからマイ クロプロセッサへのデータ転送は、マザーボード や専用メモリボードが使用する32ビット接続の2 倍の時間が必要になる。

十分な性能を望む場合は、8MHzのATより高速なパーソナルコンピュータでは、通常の拡張スロットには、メモリを接続しないのがあたりまえになっている。しかし、ほかに何も拡張をしていない場合や、最速のメモリスピードを必要としないアプリケーションを使用している場合、あるいはすでに拡張メモリボードを持っている場合など、いくつかのケースでは、拡張スロットにメモリを接続する意味があることもある。

いくつかのコンピュータでは、マザーボードに 拡張できるメモリ容量に制限があり、拡張スロット以外には、もうメモリを追加する余地がない場合もある。また、専用のメモリ拡張ボードを使用 するシステムボードを持っているのに、メーカーが連絡の取れない所にあったり、廃業していたり、 あるいは、そもそもボードを製造して欲しいという要求がないために、必要な専用ボードが入手できないなどということは、よくある話だ。

もし、プログラムのコンパイルやデータベース の分類をスピードアップするために、RAM ディ スクだけが必要なら、拡張ボードメモリで十分だ ろう。このような RAM ドライブは、マザーボードのメモリを使った場合ほどは速くはないが、それでも機械的なディスクドライブとは比較にならないほど高速に動作できるのである。

すでにメモリ拡張ボードを持っていて、そのボードが自分のコンピュータで使えるなら、もちろんそれを使えばよい。拡張ボードのメモリのアドレスが、システムボードメモリよりも上位のアドレスから始まるように設定しておけば、アプリケーションは最後にそのメモリを使用するので、動作速度の減速という事態が生じるのを、プログラムが、この最後のメモリ領域を使用したときだけに限定することができる。たしかに、このときには性能が損なわれるが、メモリを拡張しなければ使用できないソフトウェアも、とりあえずこれで走らせることができる。

さらに、Windowsのような仮想メモリ技術を利用している環境の場合でいえば、機械的なディスクドライブでエミュレートされる仮想メモリに比べれば、遅いスロットに接続されたメモリのほうが性能は優っている。したがって、このようなスロット接続のメモリは、理想的な解決法とはいえないまでも、実用可能な限りにおいては、満足できる方法といえよう。

5.6 メモリの論理構成

同じ種類のチップで作られているメモリでも、 そのすべてがコンピュータ内部で同じように働く わけではない。プログラムの中には、利用できる メモリ容量の一部分しか使用できないように制限 されているものもあるし、どんなプログラムから も使用できないメモリもある。

当然、メモリの制御は、コンピュータのベースになっているマイクロプロセッサによって決まる。しかし、数年間にわたり、パーソナルコンピュータに使用された Intel のマイクロプロセッサは、自らのメモリ処理能力を劇的に向上させてきた。7年も経たない間に、マイクロプロセッサが達成し

たアドレス範囲の限界は 4,000 倍にもなり、実際 に書かれたプログラムだけでなく、想像上のもの まで含めて、すべてのプログラムが必要とする容量をはるかに超えた(少なくとも現時点において は超えている)。

しかし、コンピュータもアプリケーションも、マイクロプロセッサのメモリ処理能力に歩調を合わせていくことはできなかった。このように、マイクロプロセッサのメモリ能力と、それ以外の部分の性能が乖離する事態が生じてしまった理由は、最初の PC を作る際に IBM によって決められた、いくつかの気まぐれな設計に関係がある(とはいっ

ても、IBM の決定の根本にある本当の理由につ 初の PC の設計によって押し付けられたものであ いては、個人の想像の域を出ないが)。ユーザー は、新しいコンピュータは古いコンピュータと互 換性があり、同じプログラムが走り、同じ拡張用の ハードウェアのほとんどが使えることを期待して いる。この、互換性に対しての期待に応えるため に、最初の PC のメモリシステムが持つ欠点と制 限は、そのまま後世代のコンピュータにまで引き 継がれてしまった。IBM のパーソナルコンピュー タは、この下位万換件を犠牲にすることなく、ち ぐはぐな改良によって新しい能力が加えられたが、 それが PC の過去のメモリをいっそう混乱させて しまった。結果として PC は、異なる容量と異な る互換性(ほとんどのアプリケーションで使える メモリもあれば、ごく少数のアプリケーションに しか役に立たないメモリもある)によって、階層 化されたメモリタイプの間で立往生している。時 代と共に改良されていくのではなく、進化の度に メモリは複雑になっていくのだ。

コンベンショナルメモリ

かつては、あれこれ迷おうにもメモリの種類は1 つしかなく、プログラムもそのメモリを使用してい た。また、オペレーティングシステムも MS-DOS (以下 DOS と略す)しかなかった。DOS の制約の もとでは、プログラムに使用できる範囲は 640K バイトだけで、長い間すべてのプログラムは、この 640K バイトという DOS のメモリ領域の制約を受 けていた。しかしその後、プログラムとオペレー ティングシステムは、メモリに対応しながら変化 を遂げ、厳密にいえば、もはや DOS (Version 5.0 以降のもの)には、640Kの RAM を使用しなけれ ばならないという制限はなくなっている。しかしそ れにもかかわらず、よく使われているアプリケー ションの多くが、最初の DOS の制限に縛られた ままである。

DOS メモリに 640K バイトという上限が設けら れたことを、オペレーティングシステムの設計者 の責任にすることはできない。これはむしろ、最 る。いいかえれば、現実的な設計とマイクロプロ セッサの限界によって、この PC の限界が生じて しまったのである。

メモリは、マイクロプロセッサが使用できるよ うに、アドレスが割り当てられていなければなら ない。PCでは、そのベースとなった8088マイク ロプロセッサによって、1Mバイトのメモリアド レス空間が定められていた。第4章でも触れたよ うに、この 1M バイトはリアルモードメモリと呼 ばれる。

IBM は、この基本となる 1M バイトのアドレス 空間のうち、特別なシステム機能用として特定の 部分を切り分けることにした。PC の最初の設計 では、メモリのちょうど上半分がその範囲となっ た。8088 のアドレス空間の上半分の512Kバイト が、システムの BIOS コードと、マイクロプロセッ サが直接アクセスする、ビデオシステム用のメモ リとして割り当てられたわけである。また、最初 の数 K バイトは、システムのハードウェアの仕様 に関する情報と、特定のソフトウェア割り込みが あったときに実行される、あるコードセクション (割り込みルーチン)の位置を記憶するスペースと なった。

メモリの各アドレスに割り当てられた用途を記 して表を作ると、メモリの使い方を視覚的に表わ した図表になる。この図表をメモリマップという。 図 5-1 は最初の IBM PC のメモリマップである。

普及していたほかのコンピュータが、最大 64K バイトのメモリ領域しか使用できなかった時代に、 512K バイトというのは格段に大きいという印象 を与えたが、これでは不足することがすぐに明ら かになった。最初のPCを発表して1年も経たな いうちに、IBM は自らのメモリ分割の方法を見直 し、上部の512Kバイトのうち余分な128Kバイ ト分を、プログラムのアクセス用に割り当て直し ても差し支えないという結論に至った。この変更 によって、アドレス上部の384Kが、ビデオメモリ と BIOS ルーチン用として残されることになった。

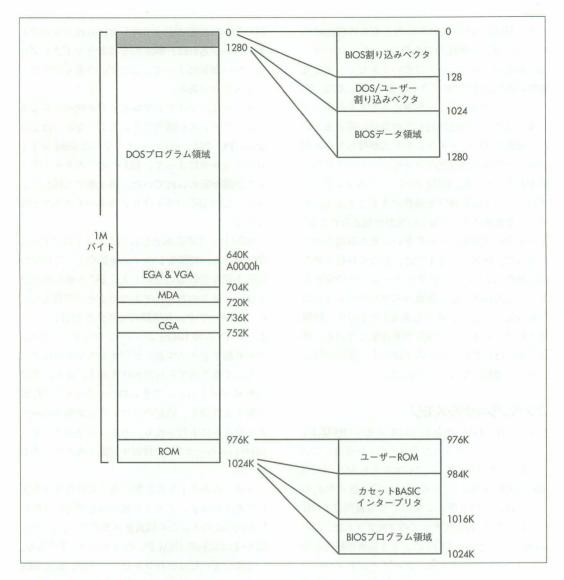


図 5-1 PC と XT のメモリマップ

下位の640KバイトをDOSメモリエリアに割り当てるというこのメモリ分割法は、以来今日まで続いており、この640Kバイトはコンベンショナルメモリと呼ばれている。この範囲は、8088マイクロプロセッサのアドレッシング範囲内において、連続したメモリエリアとしては最大容量であり、通常のDOSプログラムがアクセスできるアドレスの大きさに相当する。DOSの設計によって、プログラムは論理的に連続したメモリを使用するように決められている。また同時にDOSは、上

限と下限の間(搭載されているメモリの量と、ユーティリティ機能への割り当て状況で決まる)であれば、プログラムがどこでもアドレスすることを許可している。もし、DOSメモリに穴(メモリチップが実装されていないアドレス範囲など)、つまり不連続部分があると、プログラムは存在しないアドレスもうっかり使用しようとし、プログラム(およびシステム)の破壊という有害な結果が生じる可能性がある。現在のような、メモリマネージメントの機能を持つハードウェアやソフトウェアが登

場するまでは、このようにメモリが論理的に連続している必要があったため、PCにどんなに多量のメモリが実装されていても、DOSのアプリケーションは640KのRAMしか使用できなかった。

DOSメモリエリアの上限は、IBMがVGAメモリをDOSの640Kバイトの直後に割り当てたことで決まってしまった。初期のモノクロームディスプレイシステムに割り当てられたメモリは、DOSメモリの64Kバイト上から始まっている。そこで、メモリ拡張ボードやメモリマネージャの中には、VGAが使用する64Kバイト部分にDOSをアクセスさせて、モノクロームディスプレイメモリのエリアを使用するものもある。ハードウェアとソフトウェアが両方ともこれに対応していれば、DOSやその下で走るアプリケーションは、この方法で704Kバイトの範囲のRAMにアクセスすることもできる。

IBM が、DOS アドレッシング範囲の下にある 数Kバイトを、DOSやプログラムに必要な情報 を記録しておくスペースとして割り当てたため、 DOSエリアは0番地から始まっていない。アド レッシング範囲の最も下位にあるこの数 K バイト の中には、インタラプト(割り込み)ベクタとポイ ンタが含まれている。このポインタによって、マ イクロプロセッサは、各割り込みの処理ルーチン の開始アドレスがわかる。またこの部分には16バ イトのキーボードバッファがあり、キーボードに よって入力された最後から16文字分のコードが、 逐次ここに記憶されるようになっている。この臨 時の記憶エリアのおかげで、コンピュータがほか の作業で一時的にビジーになっている間も、キー 入力を受け付けることができ、その後ビジーの状 態から抜けたときに、遡って、入力されたキーに 対応する処理ができるようになっている。長い時 間1つのキーを押しっぱなしにしていると、コン ピュータが怒ったようなビープ音を発生すること があるが、これはキーボードバッファが一杯で、新 たにキー入力を記録するスペースがないことをマ シンが告げているのであり、コンピュータはバッ ファに空きができるまでキー入力の受け付けを停 止する。これに加えて、様々なシステムフラグや、 セマフォアフラグのコードとして扱われる、シス

テム内部の状態を示すインジケータが、このメモリエリアに記憶される。

DOS だけでなく、ほかのオペレーティングシステムも、PCのハードウェア設計の制限下にあって、640Kバイトのリアルモードメモリしか使用できない。ここから、メモリの下位640Kバイトは、より一般的な用語としてベースメモリと呼ばれることもある。ベースメモリは、IBM 互換システムを構築する際に従わなければならない、基準となる土台である。

Extended Memory

8088 によってアドレス可能な 1M バイトの範囲を超え、286 や 386 マイクロプロセッサのプロテクトモードによってアクセスできるメモリを、一般に Extended Memory と呼ぶ。286 ベースのコンピュータでは、15M バイトまで Extended Memory を増設でき、386、486 ベースのマシンなら 4G バイト近くまで拡張可能である。

DOS アプリケーションから Extended Memory を使用する方法は、コンピュータに搭載されているマイクロプロセッサによって決まる。286 マシンでは、プロテクトモードアプリケーションしか Extended Memory を使用できないが、386 や後続のプロセッサを搭載したマシンでは、仮想 8086 モードによって、ソフトウェアは 1M バイト以下の大きさに Extended Memory を等分割して使用することができる。この分割されたメモリは、各々が 1 台のコンピュータのベースメモリのような働きをする。

DOS およびそのアプリケーションが、仮想 8086 モードで Extended Memory を使用する際には、メモリマネージメント用のソフトウェアが必要である。バージョン 5.0 以前の DOS は、Qualitasの「386Max」、あるいは Quarterdeck Office Systemsの「QーEMM」のようなアドオンメモリマネージャが必要だった。現行バージョンの Windows は、内蔵のメモリマネージメント機能を持っている。ただし、OS/2 は、最初から Extended Memory を使用するように設計された "プロテクトモードオペレーティングシステム" なので、これらのメモリマネージメント機能は OS/2 には関

係ない。

しかしながら、コンピュータがいかに多くのメモリを搭載し、どのようなメモリマネージメント設計を使用していても、DOS アプリケーションがアドレッシングできるのは 1M バイト以下、もっと正確にいえば、640K バイトだけであることに注意しなければならない。これは、DOS アプリケーションのメモリアドレッシング範囲が、アプリケーション自身に組み込まれているためである。WindowsやOS/2のもとでは、Extended Memoryを使って、いくつかの標準DOS アプリケーションを走らせることができる場合が多いが、各プログラムは、内部的には、古いDOS の 640K バイトのアドレッシング範囲の制限を持たされていることに変わりはないのだ。

少数のパワフルな DOS プログラムは、このルールの例外である。これらのプログラムは、DOS エクステンダを利用して、Extended Memory も使用することができる。DOS エクステンダとは、アプリケーション自身に組み込んで使うもので、コード化されたメモリ管理ルーチン (ライブラリ) で構成されるソフトウェアツールキットである。DOS エクステンダを使用して書かれたプログラムには、同時にメモリマネージャが組み込まれることになる (ユーザーは DOS エクステンダを直接目にすることはない。その恩恵だけを受けるのだ)。

DOSエクステンダは、まず、DOSを使ってプ ログラムをリアルモードでロードし、続いてプロ グラム制御をプロテクトモードに切り換える。こ のとき、DOSエクステンダは、DOSに代わって DOSから標準的に供給されるすべてのサービス を行う(DOSがリアルモードでしか動作できない ため)。プロテクトモードのアプリケーションが、 DOSがリアルモードで標準的に供給している機 能を実行する必要がある場合、DOSエクステンダ は仮想プロテクトモードのアドレスを物理アドレ スに変換して、Extended Memory からコンベン ショナルメモリへ必要なデータをコピーし、その 機能を実行するためにリアルモードに切り換える。 リアルモードの機能が完了すると、DOSエクステ ンダはこのプロセスを逆順に行って、元のプロテ クトモードに切り換える。

DOS エクステンダを使用するほとんどのアプリケーションは、386 や後続のマイクロプロセッサで走るように設計されているため、名前に "386" が付いている (「Paradox 386」、「AutoCAD 386」など)。ただし "386" の名称は 486 マイクロプロセッサが優勢な現在では、時代遅れの印象を与えてしまうため、この名前の付いたプログラムのほとんどは市場から消えつつある。さらに、OS/2や Windows 上で使うように特別に書かれたプログラムであれば、Extended Memory にアクセスする際には、DOS エクステンダは必要ない(もちろん、OS/2や Windows 用に書かれたプログラムは DOS のアプリケーションではなく、OS/2もしくは Windows のアプリケーションである)。

Extended Memory の容量が大きくなると、プログラムに問題が発生する確率が高くなる。使用できるメモリがたくさんあると、それぞれにメモリマネージャを組み込んだ、複数の拡張 DOS プログラムやオペレーティングシステムを、同時に実行してみたいと思うかもしれないが、DOS は、Extended Memoryではプログラム同士の相互作用の方法を制御しないため、Extended Memoryで2つのプログラムが RAM の同じブロックを使用しようとした場合に、衝突する可能性がでてくるのだ。

このような衝突を避けるために、Extended Memory をプログラムの間に割り当てる方法が、 ソフトウェアエンジニアによってこれまでにいくつ か開発されてきた。最も初期に考えられた方法は、 Extended Memory を使用するプログラムが、必 要な数の Extended Memory のブロックを予約す るという方法である。Extended Memoryプログ ラムは、それぞれが多量のメモリを自分のものに して使用する。大きな問題は、プログラムはロード されたときしかこの割り当てを行わないため、プ ログラムの要求に応じて割り当てを変えられない 点である。アプリケーションが要求した容量が、実 はほとんど実行されない作業のためのものであっ ても、そのアプリケーションは起動時にその容量 すべてを予約しなければならず、ほかのプログラ ムはそのメモリにアクセスできなくなるのである。

複数の Extended Memory プログラムが一緒

に動作できるように、Extended Memory マネージャの3つの規格が開発された。「Extended Memory Specification」、「仮想制御プログラムインターフェイス」、「DOS プロテクトモードインターフェイス」がそれである。

XMS

Extended Memory Specification (XMS) 12, Extended Memory機能を有効に利用するた めに、AST Research、Intel、Lotus Develop ment、Microsoft Corporation によって開発さ れた。1987年に初めて登場したこの XMS は、 Extended Memory にアドレスできるすべてのマ イクロプロセッサ(つまり286より上位のもの)で 機能し、リアルモード(DOS)アプリケーションが、 通常は DOS の範囲外にある特別なリアルモード メモリのブロックと同時に、Extended Memory も使用できるようにする。XMS は通常は、コン ピュータの CONFIG.SYS ファイルに、Extended Memory マネージャのドライバをロードするコマ ンドを記述することによってシステムに追加され る。最も一般的な Extended Memory マネージャ は「HIMEM.SYS」で、これは DOS や Windows の最近のバージョンに付属さする。

■ VCPI

仮想制御プログラムインターフェイス (VCPI: Virtual Control Program interface) 12, Phar Lap Software (人気のある DOS エクステンダ の発売元) と Quarterdeck Office Systems (「Q -EMM/386」という Extended Memory マネー ジャの作成元) によって開発され、1987年に初め て登場した。VCPIは、ソフトウェア割り込み、具 体的には"int 67h"を使用するもので、複数の仮 想8086モードプログラムが同時に動作し、互いに やり取りをさせるための手段として、386マイク ロプロセッサのために特別に開発されたものであ る。VCPIアプリケーションには、それぞれ専用 の386制御プログラムが含まれている。システム にロードされた最初の VCPI のプログラムは、そ れ以降にロードされる VCPI プログラムのひとつ ひとつについて、割り込みの制御をリンクする責

任を持つ。つまり、最初にロードされた VCPI プログラムは、ほかのすべての VCPI プログラムのメモリマネージャの役割を果たすわけである。

■ DPMI

DOS プロテクトモードインターフェイス(DPMI: DOS Protected Mode Interface)は、最も新しい Extended Memory マネージメントシステムで、最初は Windows3.0 に付属(あるいは内蔵) された形で発売された。規格のバージョン 1.0 は 1990 年11 月に正式にリリースされ、Extended Memory 機能を持つすべてのマイクロプロセッサに適合している。 Microsoft は当初、これをメモリマネージャに加えて DOS エクステンダの機能もすべて含んだ独自の標準と考えていたが、正式な規格の範囲は、DOS エクステンダとの衝突を避けるために減らされた。また、規格の管理運営は、独立した産業団体 (DMPI 委員会) に委任された。

EMS

1985 年 4 月、大容量の Extended Memory を 搭載できるATが発表されたわずか数か月後、有力 なソフトウェアベンダである Lotus Development とハードウェアメーカーの Intel は、8088 ベース の DOS コンピュータの 640K バイトという制限 を乗り越える、独自の規格を設定した。数ヶ月後 にはこれに Microsoft も参加し、この新たな展開 は「Lotus-Intel-Microsoft Expanded Memory Specification」、または「LIM メモリ」、「EMS」、 あるいは簡単に「Expanded Memory」という名称 で呼ばれるようになった。EMS の最初のバージョ ンには、「3.0」というナンバーが付けられている が、これは、当時使用されていた DOS 3.0 と互 換性があることを表わしたもので、したがって、 EMSには「1.0」というバージョンは存在しない。 Microsoft が参加したときに仕様がわずかに変更 され、バージョン3.2となっている。

この新しいメモリシステムが、ベースメモリや Extended Memory と異なる点は、それがホスト のマイクロプロセッサの通常のアドレッシング範 囲内に存在しないということである。その代わり に、8088 マイクロプロセッサが読み書きできる通 常のアドレス範囲内にあるメモリバンクを、ハードウェア回路で切り替える方法を使っている。

バンク切り換えと呼ばれるこの技法は、目新しいものでも特に変わったものでもなく、Z80マイクロプロセッサをベースにした CP/M コンピュータでは、このコンピュータに固有の、64Kバイトというアドレッシングの制限を超えるために、すでに利用されていたものである。したがって、このバンク切り換えの技術について唯一注目されるべき点は、ときには競合し合うメーカー同士が、標準化という点で手を結んだということである。

最初の EMS の仕様では、Expanded Memory は 16K バイト単位のバンクの中で扱われていた。 そして、これらのバンクを、同時に最大 4 個まで 8088 のアドレッシング範囲に切り換えるために、ディスプレイメモリに割り当てられている領域の上にある非 DOS のメモリエリアに、64K バイトの領域が割り当てられた。Expanded Memory の 16K バイトのバンクは、最大 8M バイトまでシステムにインストールすることができた。

EMSの仕様には、いくつかのファンクションコール (あらかじめ定められているソフトウェアルーチン)の定義が含まれている。ファンクションコールは、Expanded Memoryにアクセスするプログラムが使用する、「Expanded Memoryマネージャ」と呼ばれる特殊な EMS ソフトウェアの一部である。DOSの 640K バイトの範囲を越えるメモリエリアは、すでに IBM によって様々な用途を割り当てられているため、バンク切り換え領域が勝手な位置に割り当てられると、ほかのシステム拡張と衝突する可能性が出てくる。このため EMS の仕様では、784K バイトから 960K バイトの範囲内に、何通りかのアドレス範囲をバンク切り換え用の領域として使用できるように定めている。

プログラムは、EMSドライバよって追加されたファンクションコールを使用するように、書き直さなければならないため、通常のソフトウェアは、Expanded Memory があっても、DOS の範囲を超えることはできない。さらに、最初の EMS では、この追加のメモリを使用するにあたってやっかいな制限があった。このメモリはデータの記憶用

としてしか使用できず、プログラムコードを EMS エリアで実行させることができなかったのである。システムに EMS メモリを追加するには、バンク切り換え回路を組み込んだ特別な拡張ボードも必要で、ユーザーはごくわずかな無名のメモリボードを買って、きちんと動作することを期待するほかはなかった。

■ ソフトウェア EMS

通常の DOS プログラムからは Extended Mem ory を利用できないという事実が露呈するまで、AT マシンの登場と、それが 16M バイトの空間を アドレスできるということによって、EMS はすっかり影が薄くなっていた。AT の発表のわずか 3 年後には、Extended Memory のオペレーティングシステム (OS/2 Version 1) ができ、Expanded Memory はアプリケーションソフトウェアの開発に関して 3 年間先行したのである。

実際、DOS 5.0 や Windows 3.0、OS/2 2.0 といった真に有用な Extended Memory プログラムが登場する前は、Extended Memory の最も重要な用途の1つは Expanded Memory をエミュレートすることだった。Expanded Memory マネージャまたは LIMulator と呼ばれる特殊なプログラムを使えば、ベースメモリや Extended メモリ、果てはディスク装置まで、どんなメモリでも EMS 互換メモリにすることができる。

これらのソフトウェア EMS は、2つのクラスに分かれている。1つは、386マイクロプロセッサ(およびメモリマッピング回路を持った286マシン、つまり、マイクロチャネル PS/2 や適切なチップセットを使った AT 互換マシンなど)に内蔵されている、"仮想ページメモリマッピング"の機能を使用するもので、もう1つは、Extended Memory からベースメモリへ、16K バイト単位のバンクメモリをコピーするものである。386 用のプログラムは、ホストのコンピュータに対して、メモリブロックをコピーするという特殊な動作を行うように要求する代わりに、瞬時にブロックの切り換えを行うことができるため、性能の点では強みがある。仮想ページメモリマッピングは使えないが、EMS がどうしても必要な場合は、コピー

形式の LIMulator を使うほかはない。この場合、確かに速度は遅くなるが、それほど大きな不利益ではない。

Enhanced EMS

EMSが発表されて間もなく、これに競合 するシステムが、AST Research、Quadram、 AshtonTateによる、まったく別の企業連合から提 唱された。Enhanced Expanded Memory Specifi cation (EEMS) と呼ばれるこのシステムは、EMS のアイデアをさらに発展させたもの(EMSのスー パーセット)で、Expanded Memory のエリアで のプログラムの実行や、マルチタスクを可能にし ている。EEMSの設計において改良されている 点は、640K バイトの DOS エリアの一部をバンク 切り換え用に使用するだけでなく、最大 64K バイ ト単位のバンクを切り換えることができるように なったことである。EEMS も EMS 同様に、専用 のドライバや専用のハードウェア、そしてこの改 良点を使用するように書かれたソフトウェアが必 要だった。これらは EMS 用に作られたものとは まったく異なるものである。

EMS Version 4.0

1987 年 8 月に、2 つのシステム(EMS と EEMS) は、「EMS Version 4.0」で統合された。EMS と EEMS はともに EMS 4.0 のサブセットであり、ソ フトウェアはどちらか一方のシステムに合わせて 書かれていれば、EMS 4.0 の下で走ることができ る。EMS Version 4.0 では、前の標準を超えて、 最大 32M バイトのバンク切り換えメモリがサポー トされていることが多い。もちろんこの 32M バイ トのすべてが、プログラムの実行とマルチタスク をサポートしており、また、ファンクションコー ルは2倍以上に増えて、EMS 4.0対応のプログラ ムを作るプログラマを大いに助けている。EMS 4.0 は、以前のハードウェア設計と互換性がある が、実際動作させるにあたっては、新しいメモリ マネージメントのソフトウェアが必要である。ア プリケーションは、増加したファンクションコー ルを使用するように特別に書かなければならない が、以前の EMS や EEMS の規格に準拠して書か

れたアプリケーションも、まったく動作しないわけではなく、当初の仕様の範囲内でなら動作するだろう。

開発者によれば、EMS 4.0 の目的は、8088 や8086 ベースのコンピュータの寿命を伸ばすことであるという。EMS 4.0 は、より大きなメモリへのプログラムのアクセスを可能にする、プロテクトモード OS の代用品として使用することができるが、本質的には OS ではない。EMS 4.0 は単にソフトウェアと OS の開発者に機能を与えているだけであり、マルチタスク環境を実現するには、EMM プログラムを効率的に使用しなければならない。

High DOS Memory

拡張性の高いコンピュータでは、メモリマネージメントソフトによって、ほかにもいくつかの特別なメモリが作り出される。その中には High DOS Memory (UMB: Upper Memory Block) と High Memory Area (HMA) と呼ばれる 2 つのメモリがある。

DOSメモリの名目上の上限から、リアルモードメモリの上限までの間のメモリ領域(物理アドレスの640Kバイトから1,024Kバイトの間の領域)は、パーソナルコンピュータのさまざまな機能(ビデオメモリなど)に使われているが、実際には、パーソナルコンピュータの全機能に使われる分よりも大きい領域である。一般には、フルに拡張されたコンピュータでさえ、このエリアのうちの、数万~数十万バイトのメモリアドレスは使用しない。これらの未使用のアドレスは、リアルモードのアドレッシング範囲に含まれるため、DOSで使用できる。この384Kバイトのエリア全体を「High DOS Memory」という。

High DOS Memory の未使用アドレスは、そのままではメモリが割り当てられていないため、何の役目も果たさない。しかし、メモリマッピングをサポートしているコンピュータ (386 やそれより上位のマイクロプロセッサ搭載マシンや、適切なサポート回路を搭載した 286 マシン)は、このアドレッシング範囲に Extended Memory をリマップできる。このリマップされたメモリは、DOSア

プリケーションでは使用できないが(連続していないため)、ドライバソフトや TSR ユーティリティのような、それだけで完結したプログラムのブロックの実行に使用できる。

多くのメモリマネージメントプログラム (バージョン 5.0 以降の DOS を含む) は、これらとは別の方法で未使用アドレスとメモリマッピングを組み合わせ、Microsoft が「Upper Memory Block (UMB)」と呼ぶメモリエリアを作っている。アプリケーション用に、より多くの DOS エリアを残すために、特殊なプログラムローダー (DOS の LOAD HIGH コマンドなど)を使って、ドライバや TSRソフトウェアを通常の DOS の 640K バイト以内ではなく、UMB に配置することができる。UMBを効果的に使用するコツは、ドライバと TSR とメモリブロックの中から最も適合する組み合わせを見つ出すことである。それぞれのドライバやプログラムは、1つの連続したメモリブロックの範囲内に収まらなければならない。

High DOS Memory を動作させるには、それに適合するハードウェア (386、486、メモリマッピングをサポートするチップセットを搭載した 80286) と、メモリマネージャ、専用のローダ、そしてリマップして使用できる物理メモリが必要である。640K バイトしかメモリを持っていないシステムの場合は、High DOS Memory のエリアには、何もリマップすることはできない。

High Memory Area

Extended Memory の機能があるマイクロプロセッサには、おもしろい癖 (バグ) がある。リアルモードの状態でも、1M バイトを超えるメモリをアクセスできるのである。8088 や8086 マイクロプロセッサで走るプログラムが、1M バイトを超えるメモリアドレスにアクセスしようとすると、そのアドレスは "ラップ"し、0 に戻ってスタートする。一方、286 以降の新しいマイクロプロセッサの場合は、21 本目のアドレスライン (8088 系にはない)に信号が出力されると、1M バイトを超える1セグメント相当のアドレスは、Extended Memoryの領域にまで達する。このアドレスライン (A20)は、リアルモードでプログラムが動いている間で

も出力することができる。このため、Extended Memory の最初の1セグメント分は、286 や上位のプロセッサなら、リアルモードでもアクセスできるのである。

この増加分のメモリは、64K バイトから16 バ イトを引いた容量で、High Memory Area (HMA) と呼ばれる。このメモリは 640K バイトの DOS エ リアとは連続していないため、通常の DOS アプ リケーションは、これを増設されたメモリとして 使用することはできないが、ドライバや TSR ソ フトウェアであれば、UMB と同じ使い方ができ る。ただし、HMAは UMB とは違って、容量に かかわらず、ドライバやユーティリティは1つし かロードできない。DOS 5.0 は、ユーザーの指示 で自動的にカーネル(約 40K バイト)やプログラム コードを HMA に移動できるように書き直されて おり、HMA がアクセスできるシステムでは、こ れが自動的に行われる。この再配置によって、通 常の640KバイトのDOSエリアのうち40Kバイ ト分を、DOSアプリケーションが使用できるよう に空けられる。

シャドウメモリ

最新の32ビットコンピュータは、8ビットか16 ビット、もしくは32ビットのデータバスを介して メモリヘアクセスしている場合が多いが、BIOS を 記憶している ROM に関しては、16 ビットのデー タパスを使用するほうが都合がよい場合が多い(32 ビットパスでは 4 個必要になる高価な EPROM チ ップが、2個だけで済むからだ)。オンボードの拡 張 BIOS を持っている拡張カードの多くは、8 ビッ トのデータバスによってコンピュータのホストに 接続されている。このため、これらのメモリエリ アは、ホストシステムの 32 ビット RAM と同じ速 度ではアクセスすることができない。BIOS ルー チン、特にディスプレイアダプタに使用されるも のは、コンピュータの中で最も頻繁に使用される コードの1つであることを考えると、これは問題 である。

この速度の壁を破るために、386 マシンではシャドウメモリが多く使用されている。このタイプのマシンでは、ROM のルーチンを高速な32 ビット

RAMにコピーし、386の持つ仮想ページメモリマッピング機能を使用して、そのRAMをROMのアドレス領域に切り換えている。こうすると、BIOSルーチンの実行速度は4倍以上(以上というのは、遅いROMメモリヘアクセスする時には、

もっと多くのウェイトステートが課されることが よくあるからである) スピードアップする。もち ろん、シャドウメモリは揮発性メモリなので、コ ンピュータがブートされるたびに BIOS ルーチン をロードしなければならない。

5.7 メモリのパッケージ

メモリチップの正体は、爪よりも小さい銀色のシリコンで、空気にさらされると壊れてしまうほど繊細だ。メモリチップは(すべての半導体と同様に)、取り扱いを容易にするために、大きなケースに密封されている。ケースはシリコンを保護しているだけでなく、チップを回路基板に実装する際に便利な媒体になっている。このケースをパッケージという。

メモリチップは、一般にディスクリートチップと呼ばれる集積回路として、1個1個別々にパッケージに入れられているのが普通である。初期のパーソナルコンピュータは、メモリソケットでディスクリートチップを搭載するように設計されていた。この場合、通常は1メモリバンクは9個のチップで構成される。しかし、32ビットマイクロプロセッサの登場と共にメモリの需要が大きくなり、ディスクリートチップではメモリとしては不都合、あるいは非実用的になった。1バンクは通常36個のチップで構成されるため、バンクが多くなれば、ほとんどのパーソナルコンピュータのボード上には、実装に必要なスペースがなくなってしまうからである。

これに対して考えられた新しいパッケージがメモリモジュールで、これは数個のディスクリートチップを、1枚の小さな回路ボードに載せたものである。メモリモジュールは、2つの理由からディスクリートチップよりコンパクトになっている。1つは、チップはメモリモジュールに直接はんだづけされており、一定のスペースが必要なソケットが要らないため、複数のチップを近づけて実装できることだ(個別のメモリチップを脱着する必要

がないため)。さらに、メモリモジュールに実装されるディスクリートチップは機械を使って実装できればよいので、もっとコンパクトな表面実装パッケージが使用できる。このように、長さがわずか数インチの1個のメモリモジュールに、バンク単位のメモリを入れることができるのだ。

コンピュータに付属の説明書の中に、使用するメモリのタイプの記載がなくても、コンピュータの中をちょっと見るだけで、使用しているメモリのタイプはわかる。ディスクリートメモリチップは、ほとんどの場合、システムボード上で長方形に配列されて搭載されている。チップが9個ある列が、数列(通常4列)並んでいるのが典型的だが、中には1列18個のものや、4列以上のマシンもある。また、列のいくつかが空きソケットになっていて、メモリを拡張できるものもある。

ディスクリートメモリチップを見分けるための秘訣がある。使用されるチップはすべて同じもので、普通は、並んだすべてのチップのパッケージに、同じ識別番号が付いているのだ。ただし、チップメーカーはそれぞれ異なるパーツナンバーを使用しているため、ちょっと変わった番号のチップが混ざっている可能性もある。さらに、コンピュータによっては、列ごとに異なるタイプのチップを使用している場合もある。とはいえ、複数の似通ったチップが並んでいれば、それはディスクリートメモリチップであると思って間違いない。

これに対し、通常右方向へ突き出た数枚の小さな回路ボードがシステムボード上にあれば、そのコンピュータはメモリモジュールタイプのメモリを 搭載しているということだ。いくつかのコンピュー タでは、メモリモジュールの配置を分散させて、拡張スロットの間に置いているものもあるが、おおよそ4インチ四方の一区画に、すべてのモジュールが一緒に搭載されているのが一般的である。

ディスクリートチップ

RAM チップは、パーソナルコンピュータの発展に伴って進化してきた。小型コンピュータの成功は、メモリチップの需要に拍車をかけた。それと同時に、メモリチップの容量も増大し、世界的な品不足が原因で、1980 年代終わりに一時的に値上がりしたことを除けば、チップの価格は大きく下がった。

最初のPCが発表された当時、標準的なRAMチップは16Kビット、正確には16,384ビット(2,048バイト)の情報を記憶することができた。この標準RAMチップは、メモリチップとしては最小の容量で、かつてはあらゆるPC互換機に使用されたこともあるが、すぐに時代遅れになり、現在では見つけることすら困難である(たとえ見つかっても非常に高価である)。このメモリを使用したコンピュータはわずか数万台で、それらの大部分のマシンの耐用年数も、今ではすでに経過してしまっている。

約1年後に XT が発表されるまでの間に、容量の大きい (64K ビット) チップのほうが経済的であることがわかった。64K ビットのチップは、16K ビットのチップの4 倍のデータを記憶できるのに対し、価格は4倍以下なのである。このため、PC のシステムボードはこの格安なメモリを搭載するために修正され、XT はこのメモリが搭載できるように設計された。数年間で、64K ビットのチップは一般的になり、値段は16K ビットのチップよりも安くなった。

1984 年までに、メモリ容量の最大値は次なる段階、256K バイトに移行し、最初の AT ではこの容量の RAM チップが採用された。最初の 386 ベースのコンピュータが市場に登場したときには、メモリチップの標準容量は 1M バイトまで増大し、今日では 4M バイトのチップが発売されている。

ほとんどのチップメーカーは、容量を増大させるにあたって、4の2乗単位で増加させているため、

次世代の RAM チップは、16M ビットと 256M ビットになるだろう。256M ビットチップは、1998 年までには流通するだろうと期待されている。しかし一方で、一般的な傾向としては、ディスクリートチップよりも便利なメモリモジュールを使用する方向にあり、256M ビットのディスクリートチップも、4M ビットチップでさえも、あまり使われることはないと思われる。

1台のコンピュータで、違った容量のディスク リートチップを混ぜて使用するのは危険である。 異なる容量のチップが搭載できるコンピュータも あるが、その場合でも、インストールされたチッ プはすべて同じ容量でなければならない。たとえ ば、64K ビット、256K ビット、1M ビットのチッ プが使用できるマシンでも、異なる容量のチップ を組み合せて搭載することはできないのである。 一方、特定のバンク内のチップがすべて同じなら、 サイズの異なるチップを組み合わせて使用できる システムもある (ユーザーは自分のコンピュータ もしくはマザーボードのマニュアルを見て、シス テムが守らなければならないルールを確認する必 要がある)。この一般規則の基本にある論理的根 拠は、バンクの中にほかのチップより容量が小さ いチップが1個でもあれば、そのアドレスには記 憶の完全な

1単位を格納する十分なビットがない ということである。エラーの発生は避けられない。 4ビットのチップを使用した場合のみこのルール の例外となるが、この場合は、別のもっと厳しい 条件が課される。

ディスクリートチップのパッケージは、容量に応じて外形が異なるだけでなく、用途に合わせて様々な形のものがある。パッケージの形が異なるだけでなく、ソケット(または回路ボードへのはんだづけの方法)に合わせてピンの形も異なる。最も一般的なメモリチップでは「デュアルインラインピン」(DIP)パッケージが使用されている。このパッケージはプラスチック製の小さな長方形の平板で、ピンはパッケージ両側の長辺から直角に下向きに出ている。一般に、ピンの間隔は0.1インチで、パッケージの幅(脚の出ている辺同士の幅)は2.5インチである。「シングルインラインピン」(SIP)パッケージは、DIPの脚を片側の辺から真

横にまっすぐに伸ばしたもので、ピンは同様に 0.1 インチ間隔に並んでいる。「シグザグインラインピン」(ZIP)パッケージは SIP に似ているが、0.1 インチ間隔で並んだピンが片側から 2 列になって出ている。2 列は 0.1 インチの間隔で並行に並んでおり、さらに、2 列のピンがジグザクの形をなすように、0.05 インチ分(ピン間隔の半分)だけ互いにずれている。つまり、ZIP チップは SIP チップと同じサイズでも、接続部分は多いわけである。

また、メモリチップには表面実装用のパッケージもある。表面実装用パッケージは、所定の位置にはんだ付けできるように設計された、小さな正方形 (通常 1.5 インチ四方) の樹脂のかたまりである。このパッケージは標準のソケットには合わないため、システムボードのメモリ拡張用には使用できない。

ディスクリートチップは、データのアクセス方 法によっても分類できる。典型的なコンピュータ のメモリチップは、情報を連続したアドレス(通 常は約256,000で、1ビット幅) に格納する。同じ 容量は4つに分割できるので、各アドレスには4 ビット記憶できることになる。この方法であれば、 256K ビットのメモリチップなら、約64,000個の アドレスのひとつひとつに 4 ビットずつ記憶する ことができるわけである。この形式のチップは、 ディスプレイアダプタや少数のコンピュータシス テムでは一般的になってきており、「4×64Kビッ トチップ」と呼ばれて、1×256K ビットのコンベ ンショナルチップとは区別されている(論理的に は両チップとも 256K チップと呼べる)。同様に、 1M ビットのチップには、「1×1,024K ビットチッ プ」と「4×256Kビットチップ」がある。

データ幅の広いチップの最大の利点は、メモリバンクごとに必要なチップの数が少なくてすむということである。たとえば、1バイト幅のメモリに対しては、4ビットチップなら2個しか必要ないが、1ビットチップであれば8個必要になる。したがって、システム設計の際にメモリを節約しようと思ったら、データ幅の広いチップが採用されることになる。PCでは、4ビットチップであれば、

3個でバンクを作ることができる (パリティチェック用に 1 個余分に必要) ため、386 や 486 のパーソナルコンピュータを動作させるのに最低限必要な32 ビットのバンクなら、チップは 36 個ではなく12 個で済むことになり、マザーボードのスペースが節約できる。この形式のメモリ配列 (各バイトが1ビットチップ1個と4ビットチップ2個で構成されている) は、1 個のメモリバンクで容量の異なるチップを混ぜて使うことはできないという前述のルールの唯一の例外である。

メモリを購入するときは、正しいデータ幅のチップを購入しなければならない。全体の容量が同じでも、1 ビットチップと 4 ビットチップは互換性はない。

メモリチップの種類を確認する唯一確実な方法は、チップパッケージに表示された製造名を見ることである。ただし、大抵のコンピュータは、ほとんどメモリの総称ともいえるほどよく使用されているタイプのメモリチップ、すなわち、1ビット幅で、DIPパッケージの DRAM チップを使用している。このタイプのメモリがコンピュータに使用されている場合には、個々のチップの容量が、64Kビットなのか、256Kビットなのか、あるいは1Mビットなのかという点にだけ気を付ければよい。このありふれた種類のメモリチップに対しては、人をわざわざ惑わすかのように、各メーカーがそれぞれ専用の名称を用いている。表5-1は、様々なチップに対して主要メーカーが使用しているパーツナンバーの一覧である。

メモリにおける一般原則の大きな例外として、少数の 386 ベースマシンがある。これらは、普通の DRAM よりも高い性能を獲得するために、ちょっと変ったチップ(スタティックカラム RAM やページモード RAM)を使用している。自分のコンピュータに使用されているメモリのテクノロジーがよく分からない場合は、そのメモリチップに記されている名称と、表 5-1 にリストされている名称とを比べるとよいだろう。いずれかに一致していれば、そのチップか、そのチップの相当品でシステムメモリを拡張しても差し支えないはずだ。

表 5-1 主要な DRAM チップのメーカーとチップ名の対応表

■1M ビット DRAM チップ■

メーカー	型番	メーカー	型番
1ビット幅、ファ	ーストページモード		
Fujitsu	MB81C1000P/PJ/PSZ	Oki	MSM511000RS/JS/ZS
Hitachi	HM511000AP/AJP/AZP	Siemens	HYB511000
Micron	MT4C1024PD/DJA/ZB	TI	TMS4C1024N/DJ
Mitsubishi	M5M41000AP/AJ/AL	Toshiba	TC411000BP/BJ/BZ/BFT
NEC	uPD421000C/LA/V	Vitelic	V53C100
1 ビット幅、ニフ	ブルモード		
Fujitsu	MB81C1001P/PJ/PSZ	NEC	uPD421001C/LA/V
Hitachi	HM511001AP/AJP/AZP	Oki	MSM511001RS/JS/ZS
Micron	MT4C1025PD/DJA/ZB	TI	TMS4C1025N/DJ
Mitsubishi	M5M41001AP/AJ/AL	Toshiba	TC411001BP/BJ/BZ/BFT
1ビット幅、スタ	⁷ ティックカラム		
Fujitsu	MB81C1002P/PJ/PSZ	Oki	MSM511002RS/JS/ZS
Hitachi	HM511002AP/AJP/AZP	Siemens	HYB511002
Micron	MT4C1026PD/DJA/ZB	TI	TMS4C1026N/DJ
Mitsubishi	M5M41002AP/AJ/AL	Toshiba	TC4110028P/BJ/BZ/BFT
NEC	uPD421020C/LA/V	Vitelic	V53C102
4ビット幅、ファ	ィーストページモード		
Fujitsu	MB81C4256P/PJ/PSZ	Oki	MSM514256RS/JS/ZS
Hitachi	HM514256AP/AJP/AZP	TI	TMS44C256N/DJ
Micron	MT4C4256PD/DJA/ZB	Toshiba	TC514256BP/BJ/BZ/BF7
Mitsubishi	M5M44256BP/BJ/BL /BVP/BRV	Vitelic	V53C104
NEC	uPD424256C/LA/V	- 12 M-2 = 1	
4ビット幅、スタ	アティックカラム	学表示 医皮肤	
Fujitsu	MB81C4258P/PJ/PSZ	NEC	uPD424258C/LA/V
Hitachi	HM514258AP/AJP/AZP	Oki	MSM514258RS/JS/ZS
Micron	MT4C4258PD/DJA/ZB	Toshiba	TC514258BP/BJ/BZ/BF7
Mitsubishi	M5M44258BP/BJ/BL/BVP/BRV	Vitelic	V53C106
4ビット幅、ファ	ァーストページライトパービット		
Hitachi	HM514266AP/AJP/AZP	Toshiba	TC514266BP/BJ/BZ/BF7
Mitsubishi	M5M44266BP/BJ/BL /BVP/BRV	Vitelic	V53C105
NEC	uPD424266C/LA/V	F 5. 100 M	

■4M バイトダイナミック RAM チップ■

メーカー	型番	メーカー	型番
1ビット幅、ファ	ァーストページモード		
Fujitsu	MB814100	Oki	MSM51400RS/JS/ZS
Hitachi	HM514100AJ/AS/AZ	Panasonic	MN41C4000SJ/L
Micron	MT4C1004	Samsung	KM41C4000
Mitsubishi	M5M44100J/L	Siemens	HYB514100
Mosaic	MDM14000	TI	TMS44100
Motorola	MCM514100	Vitelic	V53C400
NEC	MPD424100		
1 ビット幅、ニフ	ブルモード		
Hitachi	HM514101AJ/AS/AZ	Oki	MSM51401RS/JS/ZS
Mitsubishi	M5M44101J/L	Samsung	KM41C4001
NEC	MPD424101		
1 ビット幅、スタ	アティックカラム		
Hitachi	HM514102AJ/AS/AZ	Oki	MSM51402RS/JS/ZS
Mitsubishi	M5M44102J/L	Panasonic	MN41C4002J/L
NEC	MPD424102	Samsung	KM41C40012
4 ビット幅、ファ	ァーストページモード		
Fujitsu	MB81440	Oki	MSM514400RS/JS/ZS
Hitachi	HM51440AJ/AS/AZ	Panasonic	MN41C41000SJ/L
Micron	MT4C4001	Samsung	KM44C1000
Mitsubishi	M5M44400J/L	Siemens	HYB514400
Mosaic	MDM41000	TI	TMS44400
Motorola	MCM514400	Toshiba	TC514400AP/AJ/ASJ/AZ
NEC	MPD424400	Vitelic	V53C404
4ビット幅、ニフ	ブルモード		
Hitachi	HM514402AJ/AS/AZ	Oki	MSM514402RS/JS/ZS
Mitsubishi	M5M44402J/L	Toshiba	TC514402AP/AJ/ASJ/AZ
NEC	MPD424402		20100
4 ビット幅、スタ	7ティックカラム		
Hitachi	HM514410AJ/AS/AZ	Panasonic	MN41C410025J/L
Mitsubishi	M5M44410J/L	Toshiba	TC514410AP/AJ/ASJ/AZ
NEC	MPD424410		

■シングルインラインメモリモジュール (SIMM) ■

メーカー	型番	メーカー	型番
256K バイト、8	ピット		
Hitachi	HB561008	Oki	MSC2328
Micron	MT8C8256	TI	TM4256GU8
Mitsubishi	MH25608	Toshiba	THM82500
NEC	MC157	State of the state	Applitude design
256K バイト、9	ピット		
Fujitsu	MB85240	NMB	MM256KOJ9
Hitachi	HB561003	Oki	MSC2331
Micron	MT8C9256	TI	TM42566U9
Mitsubishi	MH25609	Toshiba	THM92500
NEC	MC41256A9	annazi T	
1M バイト、8 ビ	ット幅		
Fujitsu	MB85230	NEC	MC42100AB
Hitachi	HB56A1B	NMB	MM1M100J8
Micron	MT8C8024	Oki	MSC2313
Mitsubishi	MH1MO8AOJ	TI	TM024GADB
Motorola	MCM81000	Toshiba	THM81000
1M バイト、9ビ	ット幅		
Fujitsu	MB85235	NEC	MC421000A9
Hitachi	HB56A19	NMB	MM1M100J9
Micron	MT8C9024	Oki	MSC2312
Mitsubishi	MH1M09AOJ	TI	TM024EAD9
Motorola	MCM91000	Toshiba	THM91000
1M バイト、32	ビット幅		
Oki	MSC2327		
Toshiba	THM322500		
1M バイト、36	ビット幅		
Fujitsu	MB85236	Motorola	MCM36256
Hitachi	MB56D25636	NEC	MC424256A36
Micron	MT9D36256	Oki	MSC2320
Mitsubishi	MH25636AJ	Toshiba	THM362500
2M バイト、36	ビット幅		
Hitachi	H856D51236	NEC	MC424512A36
Micron	MT8C36512	Oki	MSC2321
Mitsubishi	MH51236AJ	Toshiba	THM365120

メーカー	型番	メーカー	型番	
4M バイト、8ビ	ット幅			
Hitachi	H856A48	Oki	MSC2341	
Mitsubishi	MH4M08	Toshiba	THM84000	
Motorola	MCM84000	A ST.		
4M バイト、9ビ	ット幅			
Fujitsu	MB85285	Motorola	MCM9L4000	
Hitachi	HB56A49	Oki	MSC2340	
Hyundai	HYM594000	TI	TMS4100EBD9	
Mitsubishi	MH4M09AOJ	Toshiba	THM94000	
Micron	MT9D49			
4M バイト、32 t	ビット幅			
Hitachi	HB56D132			
Toshiba	THM321000			
4M バイト、36 t	ビット幅			
Hitachi	HB56D136	Oki	MSC2350	
Mitsubishi	MH1M36	Toshiba	THM361020	

コプロセッサやそのほかのチップと同様に、メモリチップを搭載する際には、ソケットに正しく差し込む、つまり、チップの1ピンをソケットの正しい位置に合わせて差し込むように注意する必要がある。

どのピンが1ピンか、あるいは1ピンがある側がどちらかがわかるように、チップにはいろいろな方法で印が付けられている。通常は、チップの1ピンがある側の辺に切り込みを入れてその印としている。また、丸いくぼみが1ピンのすぐそばに付けられているものもある。切り込みの印が付けられたチップは、その切り込みがソケット側の切り込みに合う向きにして差し込めばよい。ソケットの1ピン位置がわかるように、回路ボード上にシルクスクリーンでマークを印刷してあることもある。また、ソケットの全ピンの番号が、ソケットのプラスチック部分に型取られているものもある。

チップを間違った向きで接続すると、恐らくコンピュータに電源を入れたとたんにチップが壊れてしまうだろう。ショートして、コンピュータがまったくブートできないこともあるかもしれない。このような失敗を犯さないように、チップを追加

したときは、コンピュータのスイッチを入れる前に、もう一度チップの向きをチェックしたほうがいい。

チップをソケットに差し込む作業は、けっして簡単ではない。ICの脚を決められた場所に正確に入れるのは難しいものである。外側や内側に曲がったり、ソケットから外れて、うまく接続しないことがある。チップの脚がソケットに正しく接続されていないと、コンピュータをブートしたときにメモリエラーが発生するだけでなく、ピンが曲がっている場合には、ほかの障害の原因にもなりうる。このような問題が起こらないように、自分が搭載したチップは、1本1本の脚を丹念にチェックし、ソケットのホルダーにチップが正しく入っているかを確認する必要がある。

もしソケットに脚がうまく入っていないのを見つけたら、チップをソケットから外して、ピンをできるだけまっすぐに直し(脚は簡単に折れてしまうので、強く曲げ過ぎないようにする)、もう一度入れ直せばだいじょうぶだ。

コンピュータにメモリチップをインストールするときには、ほかにも注意が必要だ。コンピュー

タを動かすには電気が必要だが、この電気という力はメモリの最大の敵でもある。ウールのじゅうたんの上を歩くと、最高 20,000V もの静電気が発生することがあり、5V 仕様のメモリチップなら簡単に破壊してしまう。可能な限りの予防策をすべて講じるのはやり過ぎだが(たとえば水道管を握って、あなた自身を接地させる必要などはない)、敢えて危険を冒す意味もまったくない。接地は簡単で、コンピュータのケースと同時に、最初にチップが刺さっていたプラスチックチューブやフォームに触るだけでいい。大切なのは、自分とコンピュータとチップを同じ電位にすることで、それには、メモリチップの脚に触る前にこの 3 者を一度連結すればよい。

インストールを行う際に、電源コードをコンピュータに差し込んだままにして、接地するように推奨しているメーカーも少ないながらあるが、このアドバイスは無視するほうがよいだろう。始める前にはすべてのケーブルをコンピュータから抜いたほうが安全だ。間違っても、起動中のコンピュータに、メモリチップをインストールしようなどと思ってはいけない。これはメモリチップにとっては、確実に致命的なやり方である。

メモリモジュール

メモリモジュールは、今日のコンピュータに要求される小形化により適した、省スペースのRAMである。メモリモジュールは、1回の作業で手際よくたくさんのチップがインストールできる点で、とても便利なパッケージであるだけでなく、コンピュータのメモリの使用方法にも、きわめてうまく適合するものである。ビットレベルでアドレスされるほとんどのチップと違って、メモリモジュールは通常バイト単位で動作する。チップの容量はKビットもしくはMビット単位であるのに対し、メモリモジュールはMバイト単位である。

メモリモジュールの構造は簡単で、基本となる メモリチップをもう一度集積化したものと考えれ ばいいだろう。数個のチップが、1枚の小さなガラ スエポキシの回路ボード上に一緒に載せられ、そ れぞれのチップのリードは、配線で互いに接続さ れている。最終的にこのユニットは、ソケットに 差し込んだり、別の回路ボードにはんだづけする のに適当な、外部コネクタに接続される。メモリ モジュールは、この外部コネクタのタイプによっ て大きく2つの種類に分けられる。

シングルインラインメモリモジュール(SIMM と呼んだほうが一般的だろう)では、エッジコネクタが使用されている。SIMM のコネクタ部も拡張ボードと同じで、モジュールの端に、回路基板の配線を引き出しただけのものである。通常、腐食防止と接触をより確実する目的で、この端子部分は金めっきされている。端子部分に合ったソケットに、モジュールを単独で差し込むように設計されている点も、拡張ボードと同じである。この設計により、道具を使わなくても、モジュールを傷つけずに着脱を繰り返すことができる。

シングルインラインピンパッケージモジュール (SIPP) は、ピンコネクタを使用したものである。 SIPP モジュールの接続部は、下向きについたワイヤ状のピン(リード)が本体の一辺に並んでおり、 SIP チップのパッケージを大きくしたような形になっている。 SIPP のリードははんだづけされるか、場合によっては SIP チップと同様にソケットにはめ込むこともある。ソケットといっても、コンタクトカップ (金属の受け筒)で補強した穴が、接続側の回路ボードに並んでいるだけといったものも多い。

SIMM も SIPP も機能的には、同じメモリチップを使って、同じ技術で、同じ容量を実現できるが、実装方法が異なるため、互いに取り替えて装着することはできない。したがって、コンピュータにメモリを増設したり、故障したモジュールを取り替える場合には、コンピュータがどちらのタイプを使用しているのかを、事前に確認する必要がある。

両者のメモリモジュールは、パッケージ以外の 部分でも、いくつもの種類に分けられる。メモリ チップ同様、アクセス方法、容量、使用している 技術が異なるのだ。

ほとんどのメモリモジュールは、バイト単位に 構成されているが、必ずしも8ビットのバス幅で あるわけではない。コンピュータのメモリモジュー ルは大抵、ディスクリートチップのメモリシステ ムと同じ仕様で設計されており(パリティチェック機能を持っているということ)、当然そういうモジュールは、9ビット幅(8データビットとパリティチェック用の1ビット)でアクセスが行われる。一方、いくつかのシステム(Apple の Macintosh など)や特定の用途(プリンタやビデオメモリなど)では、パリティチェックなしの8ビットモジュールが使用されている。これは、万一不良のビットが表示されたり、プリントアウトされることがあっても、それによってビジネスに何十億ドルもの損失が発生するようなことは、まずないと考えられるからである。

モジュールの場合も、ディスクリートチップと同じで、マイクロプロセッサに追加できるメモリの最小容量は、そのマイクロプロセッサのバス幅と同じ幅の1バンク分である。たとえば、386DXや486のような32ビットマイクロプロセッサであれば、1バンクあたり9ビットのメモリモジュールが、最低4個必要ということになる。当然、さらにメモリを拡張していく場合は、4個単位で増設していかなければならない。

メモリモジュールの中には、個別に 32 ビットのアドレッシングを行うように設計されているものもある。これは、1 個のモジュールに 32 ビットのバス幅があって、このモジュールを使用したシステムは、一度にモジュール単位で拡張できるということである。このメモリモジュールとして最も一般的なのが、IBM の PS/2 シリーズのマシンの多くに使用されている SIMM で、「IBM SIMM」と呼ばれている。また、32 ビットバス幅に 4 ビットのパリティチェックが付いているところから、「36 ビット SIMM」とも呼ばれる。さらに、コネクタ部に72 個の接続点があるため、「72 ピン SIMM」といわれることもある。IBM SIMM は汎用設計になっており、32 ビットの PS/2 だけでなく、16 ビットのマシンでも使用できる。

メモリモジュールの容量は、メモリチップをはんだ付けしている人間の想像力が及ぶ限り、つまり、無制限ということになるが、実際にはいくつかの標準的なサイズがある。一般に入手可能な最小サイズは 256K バイトで、9 ビット SIMM では1M バイトか4M バイトの容量のものが最も使用

されている。これより大きいサイズ (8M バイト、16M バイト)の 9 ビット SIMM は、あまり売られていない。このような大きなモジュールで構成できる最小バンク (32M バイト、64M バイト)は、現在のほとんどのユーザーが求めるメモリ容量を、はるかに超えているからだ。

IBM 方式の 36 ビット SIMM (72 ピン SIMM) は、1M バイト、2M バイト、4M バイト、8M バイト、16M バイトの 5 種類の容量のものが販売されている。この SIMM では、モジュール1 個が標準のシステムメモリあるいは増設単位となるため、大きいサイズのほうが便利であり一般的である。

メモリモジュールの場合も、異なる容量のメモリの混合使用にあたっては、ディスクリートチップと同じ決まりがある。つまり、1つのバンクのモジュールはすべて同じ容量のものでなければならないということである。たとえば、32 ビットコンピュータでは、1 バンクが 4 個のモジュールで構成されるが、これらはみな同じ容量でなければならない。この例外が 36 ビットの IBM SIMM を使用しているマシンで、これらは一般に容量に関係なく、異なるメモリを混在させることができる(メモリボードの中には特別な規定を持つものもあるので、マニュアルを確認すること)。この場合、どのバンクも 1 個の IBM SIMM で構成されることが条件で、そうでない場合にこのルールに反することは現実には不可能である。

メモリモジュールはディスクリートチップでできているため、基本的にメモリチップと同じだけの種類がある。実際に、SRAM、DRAM、ページモードRAMの技術を使用したSIMMがある。ディスクリートチップ同様に、これらの技術を使用した異なるモジュールは互いに取り替えて使用することはできないため、メモリを買う場合には、コンピュータの使用するメモリの種類を確認しておかなければならない。

メモリモジュールのタイプを確認する手段として、部品番号を調べる方法がある。メーカーは部品番号を、ボードのメモリチップが乗っていないほうの面に記している。そこに部品番号がない場合は(あるいはそれ以外のどこにも見当たらないようなら)、代わりにチップ自身の仕様がわかれ

ばよい。チップのタイプは、そのままモジュールのタイプになるからだ。たとえば、256K ビットで 80 ナノ秒仕様のチップ 9 個で構成されているモジュールは、256K ビット 80 ナノ秒仕様のメモリモジュールなのである。

メモリモジュールのタイプを確認する際に、モジュールをソケットから外す必要があるかもしれないが、その場合は十分注意しなければならない。モジュールはチップでできており、静電気に弱い点はチップ単体と変わりがないからだ。これに対して適切な予防策を講じていれば、SIPPの場合は、取り外し作業はいたって簡単で、モジュールの両端に均等に力をかけて引き抜くだけでよい。

これがSIMMになると、取り外しはもう少し難しくなる。通常、SIMMはスロットの両端をプラスチックの爪で引っ掛けて固定されている。近づいて見ると、プラスチックのソケットの両端に引っ掛け用の爪が2つあるのが見えるはずだ。ソ

ケットから取り外すには、まず最初に、十分注意 しながら、この爪を SIMM から外さなければな らない。爪を外すと、SIMM をわずかに傾けて、 引っ張り出すことができる。SIMM を再度装着す る場合は、モジュールを正しくソケットに置き、爪 が引っ掛かって、爪のそばの SIMM の掛け穴に小 さな丸いタブが現れるまで、下に強く押し下げる。

SIMM や SIPP を装着するときは、向きを間違わないように注意すること。一般に、これらはコンピュータ内で、すべて同じ方に向けて装着されている。最近の SIMM の場合、ソケットが傾斜しており、ソケットに合わせて SIMM を倒すとチップが SIMM の上側にくる。ほとんどの SIMM ソケットは、逆向きに SIMM を差せないようにタブがついているので、SIMM を差してもうまく入らない場合は、方向が間違っていてこのタブに引っ掛かっているか、もしくは正しく挿入されていないのである。

5.8 メモリエラー

メモリチップ (及びメモリモジュール) は、残念ながらコンピュータの半導体部品の中では最もエラーを発生する確率の高い部品のようだ。メモリのエラーには、ソフトエラーとハードエラーの2つがある。

ソフトエラー

メモリチップにとって、ソフトエラーは一時的な変化である。突然、場所を問わず、ビットの1つの状態が変わってしまうのである。これは、チップのエポキシケースに含まれる放射性原子がひとりでに崩壊し、チップに向かって α 粒子や β 粒子を発するのが一般的な原因である(放射性原子はほとんどすべてのものに存在するが、その量はほとんど問題にはならない程度である)。粒子がチップのメモリセルにぶつかると、セルの状態に変化が生じ、そこに存在していたメモリビットにエラーが発生してしまうのだ。

幸いにもこのエラーは、メモリの1バイトごとに割り当てられているパリティビットのおかげで発見することができる。エラーが検出されるとすぐに、コンピュータはパリティエラーを警告して、自動的にシステムをシャットダウンする。ただし、チップ自体が粒子の放出によって物理的なダメージを受けたわけではないので、コンピュータをブートすればすぐにエラーは消滅する。このような放射性原子の崩壊は、そもそもめったに発生するものではなく、処理を続行してもしばらくの間はエラーが再発生することはない。

ソフトエラーの発生は予想できないため、防止 策は皆無であり、ソフトエラー発生後にできるこ ともない。唯一できることといえば、ソフトエラー について正しく理解することだけである。

ハードエラー

メモリチップの中の一部分が実際に壊れてしま

うのが、ハードエラーである。この例としては、静電気の衝撃によってメモリセルのいくつかが破壊されることがある。最初の徴候はソフトエラーと同じで、パリティエラーによるコンピュータの停止である。異なる点は、ハードエラーの場合、何度も繰り返し発生することで、リブートしてもメモリテストをパスしないか、再びパリティエラーが発生し、メモリセルは生死の境をさまよい続けるのだ。

ハードエラーは注意が必要で、エラーが発生したチップは交換しなければならない。

不良バンクの発見

IBMの規格に準拠しているマシンは、電源を投入するたびにシステムによって実行されるパワーオンセルフテスト (POST)の過程で、診断メッセージを画面に表示することによって、メモリエラーの発見に役立てている。パリティエラーの後には、この診断のエラーコードが現れることがときどきある。残念ながら、メモリエラーのメッセージは(このメッセージ以外にも、様々な診断メッセージがコンピュータによって表示される)普通のユーザーではなくサービスマン用に設計されており、メッセージは数字のコードで表示されるため、このコードを解釈しなければどのチップが壊れているかはわかない。

以前は、コンピュータのバンクごとに数十個の メモリが搭載されている場合など、その中から破 損した1個のチップを見つけ出すのは至難の技で あった。ひとつひとつのチップを交換してみるこ とは、十分な時間とチッププラー(チップ引き抜き 用の工具)がなければ不可能である。また、不良 チップを突き止めるには診断ルーチンに頼るしか なかったが、これによって報告されるのは、なん だかよく分からない数値のメッセージで、これか ら不良のチップを見つけ出すには、調査表を調べ たり、複雑な方式を解読しなければならなかった。 これに対し、SIMM ベースのコンピュータなら、 ほとんどの場合、不良チップを見つけ出すために は、チップ検出の公式を解読するよりも、2、3個 のモジュールを交換するほうが早い。ほとんどの コンピュータには4個から8個のメモリモジュー ルしか搭載されていないため、モジュールを交換 してみれば、ほんの数分のうちに不良モジュール に行き当たるはずだ。不良モジュールを見つける には、ハノイの塔のパズルを解くのによく似た手 法を使うのが最も効率がよい。たとえば、2個単位 でモジュールをほかに移して、診断のエラーメッ セージの変化を調べればよい。ただしほとんどの 場合、内部のモジュールを移す際は、モジュール 搭載の構造上の関係で、いやでも外側のモジュー ルから取り除かなければならないため、結局はモ ジュールのほとんどを取り出すことになってしま う。エラーが発生したときには、どの SIMM が ハードエラーを起こしているか見つけて、それを 良品と交換すればよいだけなので、一度やってみ れば修理は思ったより簡単であることが分かるだ

ろう。

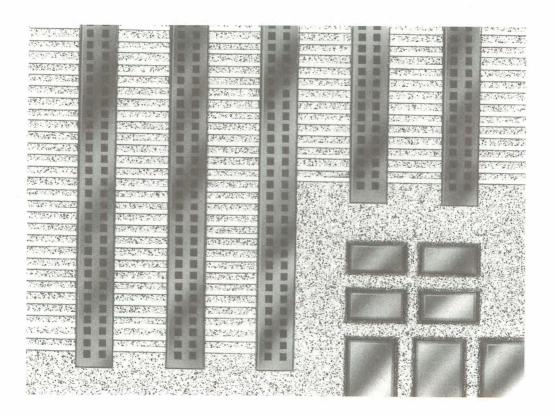
原政内でいて良子

The state of the s

2000年1月1日 100年1日 100年

第6章

拡張バス



PCに拡張バスがあるおかげで、システムの性能を拡張することができる。拡張バスは、内部周辺機器との高速な接続を提供することで、パーソナルコンピュータの性能を向上させる。バスが標準化されたことによって、互換性のある拡張ボードがひとつの産業を形成するまでになった。そして、ひとたび単一の標準ができあがると、今度は、マルチユーザーコンピュータ、高性能ビデオシステム、ノートパソコンなど、個々の装置に応じて最適化された拡張バスが作られ、機能拡張は分化していった。

パーソナルコンピュータのバスに、具体的な形を与えたものが拡張スロットである。拡張スロットとは、システム内部にあって、底部に電気的なコネクタを備え、背面にブラケットを取り付けた、専用の細長い空間を指す。拡張バスの利用によって、新たなパワーや性能を実現することができるが、その果たす役割はいたって単純で、パーソナルコンピュータに周辺機器を接続できるようにすること、そして、望むらくは、操作性を高めることである。拡張バスの設計いかんで、パーソナルコンピュータの機能がどれだけ高まるかが左右される。バスが拡張機器の互換性の基本部分を定義しているからだ。したがって、拡張バスの設計によって、同時にシステムの性能と、システムの能力の限界も決まってくる。

IBM が最初の PC 用に開発した拡張バスは、小型コンピュータ業界にとって大きな収穫であった。何もないところに単一の標準を作り上げたからである。おかげで拡張ボードのメーカーは、その標準の寸法や信号の配列に沿って製品を作れるようになった(ただし、IBM は、信号のタイミングは定義していない)。

PC バスの強みは、IBM の後押しがあったことである。それだけの理由で、多くのユーザーはこのバスを使わざるをえなかった。従来の拡張バスと比較して特に優れていたからというのではなく、単にそれが IBM マシン用だったからである。IBM のバスは技術的は特に目新しくはない単純な設計であり、ある意味では、時代を後戻りしたとさえいえる。たとえば、CP/M マシンで広く使用されていた S-100 規格のバスは、PC バスよりも柔軟性や機能性に優れていた。S-100 にはデータラインが最低でも 16 本あったが、これよりも後にできた IBM バスには 8 本しかない。さらに、S-100 が拡張ボードの 100 個の信号に 100 個の接点を提供していたのに対し (これが S-100 の名前の由来である)、IBM バスには 68 個しかない。

結局、PC バスの単純さと、単純さゆえの低価格がユーザーに受け入れられたのである。それでも、PC バスは必要な機能はすべて備えていたし、なおかつ、それなりに能力を発揮してもいた。そして、IBM PC が大きなシェアを獲得したことにより、各ボードメーカーは PC バス対応にせざるを得なかったのである。かくして標準規格ができあがった。

6.1 バスの基本構成

基本コンセプトが単純だからといって、拡張バス自体も単純かというと、けっしてそうではない。システムの設計を複雑にすれば、それがバスにも反映するからである。設計は必要に応じて選択可能だが、中には必須のものもある。

必要不可欠なものの中で重要なのは、増設回路やマイクロプロセッサなどの間でデータ転送を行うのに必要な接続である。接続には、マイクロプロセッサからのデータラインやアドレスラインも含まれる。さらに、ホストコンピュータの信号と増設回路の信号を同期させる、特殊な信号も必要である。新しいバスには、システムの制御権を増設機器に渡すことで、データ転送をより高速に行う機能も用意されている。

実際の設計では、これらの接続をどのように配列するか、また、システムと増設機器を繋ぐのにどのコネクタを使うか、あるいは、増設機器のサイズをどうするかといった点を明確に定めなければならないが、これらについては、選択の余地がない要素(たとえば、必要な回路に見合うだけの接続が必要で、コネクタは実際に販売されているものの中から選ぶなど)を除けば、基本的に可能性は無限であるといってよい。これを考えれば、たくさんのバスが、互換性のない様々なコンピュータシステムのために開発され、使われたのも不思議ではない。

データの処理

拡張バスの最も重要な機能は、マイクロプロセッサと周辺機器、あるいは拡張ボード相互の間のデータ転送である。したがって、拡張バスのデータパスが、マイクロプロセッサのデータパスに一致しているのが理想的である。バスとマイクロプロセッサのデータパスが同じなら、1ワードあるいは最近の32ビットチップで使われている1ダブルワードの転送は1回ですむ。バスが信号を送受信する装置よりも狭いと、データはいったんまとめ直してから転送しなければならない。たとえば、16ビッ

トや8ビットのバス幅では、ダブルワードのデータを転送する際に、2つのワードデータや4つのバイトデータに分割する作業が必要になる。そして、この作業を行う回路によって、マザーボードと拡張ボードの双方が複雑になってしまう。また、このようにバス幅が狭いと、ダブルワードを転送するのに2回ないし4回データの交換をしなければならず、その分余計に時間がかかることになる。

拡張バスにおいては、何本のデータラインを持つかということが重要である。通常、多いほうがよいとされるが、ホストマイクロプロセッサのデータライン数より多いとかえって複雑になる。

アドレスの範囲

データが手元にあっても、それだけでは転送はできない。そのデータについて、どこからどこへ行くのかを決めなければならない。郵便局を例にとると、封書に住所を書かないと、配達不能な郵便物がどんどんたまってしまうのと同じである。したがって、拡張ボードは、データの始点と終点を指定してやる必要がある。この指定は、拡張バスのアドレスラインとマイクロプロセッサのアドレスラインが対応していれば、一番簡単だ。

マイクロプロセッサのアドレスラインと同様に、バスがアドレス指定できるメモリの最大領域は、バスのアドレスラインによって決まる。バスには、ホストマイクロプロセッサと同数のアドレスラインが備わっているのが普通だが、中には少ないものもある。マイクロプロセッサの上位のアドレスが含まれていない場合(たとえば各アドレスの最上位ビット)、拡張ボードには使用不可能なアドレス範囲ができてしまう。しかし、386 や486マシンでは、最下位の2つのアドレスビットを削除するのが一般的である。この方法だと、メモリを識別する精度が制限されてしまうが、386と486マシンにとってはその方が都合がいい。これらのチップは4バイト単位でしかアドレス指定を行わないため、アドレスの下位2ビットを指定する必

要がないからである。

アービトレーションとバスマスタ

最初のPCの拡張バスは、本質的にはマイクロプロセッサの接続を、ほんの少し延長させただけのものに過ぎない。これは後のXTバスも同じである。マイクロプロセッサのデータラインやアドレスラインと直接に接続されたバスを、ローカルバスという。これは、このようなバスが、マイクロプロセッサに近い、ごく限られた範囲にあるデバイスに対してしか機能しないことからこのように呼ばれている。しかしPCでは、システムの拡張を可能にし、設計がより複雑な拡張ボードからマイクロプロセッサを切り離すために、電気的特性をいくらか変える必要があった。

チップに繋がるすべての信号に、パッケージの専用のピンが割り当てられているわけではない。8088では、いくつかの信号は組み合わされ、多重化されてピンを共有することで、少ないピンの数でも間に合うようになっている。コンピュータのほかの回路がこれらの接続を使用するときは、その前に多重化を解除しなければならない。また、8088チップは、拡張スロットに接続される複数の装置を駆動するのに、十分な電流を供給できるようには設計されていないため、マイクロプロセッサの接続では、電流を増幅するようになっている。つまり、周辺装置を駆動するのに使用される電流をブーストする、バッファと呼ばれるデジタル増幅器が追加されているのである。

PCバスの設計によって、拡張バス上に接続されたものはすべて、マイクロプロセッサに直接繋がり、マイクロプロセッサによって直接に制御される。バスを経由するデータは、すべてマイクロプロセッサが転送しているのである。たとえば、マイクロプロセッサがレジスタの1つから、1バイトのデータをメモリへ転送しようとした場合、最初のバスサイクルでデータを格納するアドレスが送信され、続いて、メモリシステムがデータを受け取るためにそのアドレスの準備をする。次のバスサイクルで、マイクロプロセッサはデータのビット値をバスに置き、メモリのサブシステムはこの

ビットを回収して DRAM チップに格納する。こ こに示した単純なバス転送動作の速度は、バスの 速度によって決まり、バスの速度はマイクロプロ セッサの速度と直接的な関係を持っている。しか し多くの場合、バスの動作はこのように簡単には いかない。1バイトのデータを転送するたびに、マ イクロプロセッサはマシン語のインストラクショ ンを繰り返し実行しなければならない。転送が複 雑になるに従い、バス転送の性能は、それを左右 するあらゆる要素の中で、何よりもマイクロプロ セッサの速度に左右されるようになる。マイクロ プロセッサがバス転送の始点であっても終点であっ ても、あるいはそのどちらでもなくても(モニタ 上に画像を呼び出すために、ハードディスクから ビデオメモリにデータを転送する場合など)、こ の動作の負荷はマイクロプロセッサにかかるので ある。

しかし実際には、拡張バスの制御でマイクロプロセッサに負担がかかることはない。マイクロプロセッサはバスの制御を、DMA (Direct Memory Access)コントローラなどの専用の回路に任せているからである。ただし、実際のデータ転送を DMAチップが制御していても、多くの場合、マイクロプロセッサは DMA チップと連携して、バス転送の期間中、DMA 転送のセットアップや監視を行わなければならない点は変わらない。

新たな技術によって、バス制御の中心的役割は、マイクロプロセッサから調停機能付き拡張バス (arbitrated expansion bus) という専用の論理回路に移った。この設計では、制御の全権を譲り渡したマイクロプロセッサは、システムの中の拡張ボードの1枚とみなされる。マイクロプロセッサは、バス転送の始点と終点は制御するが、システム内のほかの装置間の転送にまで関わる必要はない。

データの転送に介入し、拡張バスの制御を引き受ける機能を持つ装置をバスマスタという。また、バスマスタからデータを受け取る装置をバススレーブまたはターゲットという。この設計の中心に位置する回路は、どの装置がバスを制御するのかを決定しているだけで、このプロセスをバスアービトレーション(バスの調停)という。

同期動作と非同期動作

IBMのPC、XT、Portableでは、マイクロプロセッサと拡張バスが直接つながっているため、バスクロックはマイクロプロセッサと同期して動作する。つまり、PCバスを制御するクロックは、マイクロプロセッサを制御しているクロックとまったく同じ速度である。事実、クロックはまったく同じもので、同一の振動数の水晶発振器で制御されている。

この設計は、8088 チップがそれほど高速ではなかったために、PC にとっては有効ではあったが、より速いマイクロプロセッサが求められるようになると、クロックスピードは拡張ボードの限界を超えてしまった。クロック周波数が、PCの4.77MHz、XTの6MHz、ATの8MHzと高速化するにつれ、拡張ボードの多くはついてゆけなくなった。高速なシステムで信頼性のある動作ができないこれらの拡張ボードは、市場からは消えていくしかなかった。

12MHzのマシンが登場して、さらに多くの拡張ボードが脱落し、16MHzマシンの登場におよんでは、ほとんどが機能しなくなった。そうなると、マイクロプロセッサとバスの速度を同じにするという原則を崩すしかない。現在のほとんどの高速マシンは、マイクロプロセッサとバスの速度が異なるが、この異なる2つの速度を同期させるために、バスはマイクロプロセッサのクロックの約数の周波数で動作している。たとえば、33MHzマシンの拡張バスは8.25MHz、つまり、マイクロプロセッサの4分の1の速度で動作させているのである。

きちんと設計されていれば、マイクロプロセッサとバスの速度を同期させる必要はない。この 非同期拡張バス設計によって、コンピュータの回路の設計は比較的自由にできるようになった。非同期バスは、バス制御のロジックが複雑になるのが難点であるが、技術が進んで、必要な構成回路はすべて1個の ASIC (Application Specific Integrated Circuit) に集積できるようになり、非同期バスは現実的でかつ手頃な価格になっている。たとえば、IBM のマイクロチャネルコンピュータは、マイクロプロセッサの速度にかかわらず、バ スは名目上 10MHz で動作している。ここで注目されるのは、非同期バスはどんな速度でも動作できることである。実際、装着された拡張ボードの最高速度に合わせ、さらに、転送の際に使用されるボードの速度に合わせて、その速度を切り換える場合もある。

二重バスのコンピュータ

1台のコンピュータに拡張バスは1本だけという決まりはない。実際、1つのバスだけでは無理がある場合も出てきた。マザーボードに組み込まれている分を超えたメモリは、バスに接続されなければならないが、このときバスが1つしかないと、メモリは、遅いボードに速度を合わせなければならないという、拡張バスの "同速度原則"の弊害を被ることになる。つまり、50MHz の高速マシンであっても、メモリがアクセスされるたびに、ほとんどの場合 8.25MHz にまで速度が落ちてしまうのである。

パーソナルコンピュータを可能な限り速く動かすためには、マイクロプロセッサとメモリの速度を上げればよいと思うかもしれないが、これでシステム全体の性能が上がるわけではない。拡張バスに装着したカードの速度を超えることはできないからだ。この問題を解決しようとすればメモリと I/O 機能を分離するしかない。

マイクロプロセッサとバスは、必ずしも同じ速度にする必要はないが、メモリも無理に I/O と同じ速度にまで落とす必要はない。ただ、そうすれば設計が簡単になるというだけのことである。バスコントローラのレベルでは、拡張バスを 2つに分けて、メモリ用と I/O 用の平行したデータパスを設定することも可能である。これなら、メモリはどんな高速のチップにも対応することができる。拡張バスも 8MHz 程度の速度で、市販の拡張機器を確実に動作させることができる。

1987 年初め、Compaq Computer Corporation が発表した 16MHz の「Deskpro 386」は、このアイデアを実現したものである。 Deskpro は、最初の二重バスコンピュータとして、マイクロプロセッサの速度で動作するメモリ用のバスと、拡張機器に合わせた低速で動作する入出力用のバスの 2 つ

のバスを備えていた。現在のパーソナルコンピュー タはすべてこの二重バスか、それをさらに進めた 複雑な設計を採用している。

6.2 最初のPC/XTバス

これから述べる内容を読むと、コンピュータのバスは、何か複雑なもののような気がするかもしれない。しかし、どんなに多くの接続があろうとも、拡張バス自体は実に単純なものである。初期のPCバスを例にとって、バスの信号がどのように働くかを示す。

PC/XT バスで使われる 62 本のピンは、次のように割り当てられている。

- ●電源接地用に3本
- ■コンピュータ周辺で必要な各種の電力供給用に 5本(直流5Vに2本、-5V、-12V、12Vに各 1本)
- ●アドレスラインに 12 本
- ●データラインに8本
- ●割り込み用に10本
- 残りはほかの接続用

キャンディの成分表と同じで、専門用語が並ぶだけで難しいと思うかもしれないが、実はどれもまったく単純である。

オシレータラインは、コンピュータ内のすべてのクロックやタイマーを動かす水晶発振器から直接発生した信号を供給する。水晶発振器は14.31818MHzで、コンピュータ全体の単一の周波数標準である。

この半端な数字には意味がある。この周波数はマイクロプロセッサの速度のちょうど3倍で、テレビや安価なモニタがカラー信号を同期させる周波数の4倍である。1つの発振器でも周波数分周器(ディバイダ)によって、マイクロプロセッサにもディスプレイシステムにもというように、多目的に対応することができる。

クロックラインは、発振器で発生した信号用で

ある。この信号は電気的に 4 分割され (4.77 MHz) になる)、マイクロプロセッサやほかの回路に供給され、すべての論理演算のタイミングをとったり同期させたりする。

I/Oチャネルチェックラインは、マイクロプロセッサがPCバスに接続されたメモリや各装置の完全性をチェックするためのものである。このライン上の信号に割り込みが入ると、パリティチェックエラーが発生したことがマイクロプロセッサにわかる。このラインを接地させるとシステムは壊れてしまうことがある。

PCバスのリセットドライバラインにパルスが送られると、システム全体にリセットあるいは初期化が命令される。システムの電源がオンになったり、電源に割り込みがかけられた場合は、かならずこのラインに信号が生成される。

データラインは、コンピュータの様々な場所に、デジタル情報をパラレル形式で運ぶものである。また、メモリと入出力装置間の情報のやりとりにも使用される。PCバスの8本のデータラインは、0番から7番までの番号で識別され、0番のラインは最下位ビットの情報を伝える。

アドレスラインは、情報データを格納したり取り出したりするメモリのアドレスを指定する。全部で20本のアドレスラインは0から19の番号で識別され、これも0番は最下位ビットを伝える。

マイクロプロセッサによるバス制御

メモリを読み書きする際、マイクロプロセッサはまず、使用するメモリのアドレスをアドレスラインに送り、それからパルスを**アドレスラッチイネーブル**ラインと呼ばれる専用のラインに送る。このラインによって、バスに接続された装置に有効なアドレスが送られたことが通知されると、装

置はラッチ(回路が電気的にアドレスを保持すること)によってアドレスを記憶する。最後に、マイクロプロセッサがメモリ読み出しコマンドラインに信号を送り、メモリコントローラに対して、指定されたアドレスのデータをデータラインに置くように指示する。同様に、マイクロプロセッサは、メモリ書き込みコマンドラインに信号を送って、メモリコントローラに、データラインに置いたデータを、指定されたアドレスに格納するように指示することもできる。

また、データラインは、特殊な目的を持った別の信号線で、データを入出力装置に送る際にも使用される。I/O読み出しコマンドラインは、I/Oポートからデータラインへデータを移動させるように装置に指示するもので、これによって、マイクロプロセッサはレジスタに情報を読み込むことができる。I/O書き込みコマンドラインは、入出力装置に対して、マイクロプロセッサが送ったデータライン上のデータを取り出して、I/Oポートへそれを移動するように指示するものである。

マイクロプロセッサは、入出力装置やメモリよりも速くデータを生成したり要求したりできるため、PCバスはほかの装置が追いつくまで、マイクロプロセッサを待たせておく機能も備えている。メモリコントローラあるいは入出力装置は、I/Oチャネルレディラインから"レディ"の信号を消すことによって、マイクロプロセッサに、1つないしそれ以上のクロックサイクル分待つように伝える。マイクロプロセッサがバスを使用しようとしたときに、クロックサイクルの最初でこのラインに"レディ"の信号が見つからなければ、次のクロックサイクルまで待ち、レディ信号が見つかるまで待機を続ける。IBMの仕様では、待機の最大時間

DMAによるバス制御

データの転送は、マイクロプロセッサを利用するより DMA を利用したほうがはるかに速い。ただしその場合、アドレスラインとデータラインの両方が DMA の制御下に置かれることになる。さらに、バスに接続されている各装置がデータを転送するときには、DMA コントローラに信号を送

は10クロックサイクルになっている。

る必要があり、また、転送完了後には DMA コントローラはシステムに信号を返さなければならない。これらの動作のために、数本のバスラインが使用される。

アドレスイネーブルラインは、マイクロプロセッサが、DMA コントローラに制御権を譲るために、バスとの接続を解消したことを伝えるものだ。このラインに信号が出力された後は、DMA コントローラが、メモリと I/O 読み書きコントロールラインに加えて、アドレスライン、データラインを引き受けることになる。

DMAによるメモリの転送を終了すると、ターミナルカウントラインに信号が送られる。この名前は、DMA転送で移動したバイト数のカウントの終了(ターミネーション)を表わしていることから付けられた(転送されるデータを正確にカウントするため、移動するバイト数は転送を始める前に示されなければならない)。

各装置が DMA コントローラに DMA 転送を要求する場合は、3 本ある DMA リクエストラインのうち1本に信号を送る。3本のラインには1から3の番号が割り当てられ、小さい順に優先権がある。つまり、1番が最初、3番が最後になる。

DMA コントローラは、DMA 転送を要求する信号を受け取ったことを、システムのほかの部分に伝えるために、4本の DMA アクノリッジラインを使用する。内3本は、バス上の DMA 要求の確認に使用され、要求が受け付けられる順に番号が割り当てられている。0の番号が割り当てられている残りの1本は、メモリがリフレッシュされていることを知らせ、ほかの装置から PC バスの使用権を奪うものである。

5本の割り込み要求ラインは、各装置からマイクロプロセッサへ注意を促すためのハードウェア信号を送るのに使用される。マイクロプロセッサはこの信号を受け取ると、一時的に別の処理へ移行する。割り込み要求ラインには、2から7の番号が割り当てられており、番号の小さいものが優先順位が最も高い。

バス上には、0番と1番の割り込みは存在しないことになるが、これはシステムボードの回路内で、コンピュータ本体が内部的に使っている。0

番はシステムタイマが制御し、毎秒 18.2 回の速度で周期的に割り込みを生成している。1番はキーボード用で、キーが入力されるたびに割り込みを生成する。さらに、マスク不能割り込み (NMI) と呼ばれる特殊な割り込み (ソフトウェアを使った通常のシステム操作では、マスクしたりオフにしたりすることのできない割り込み)が、パリティエラーをマイクロプロセッサに伝えるのに使用されている。

NMIは、PCおよびXTのI/Oポート0A0h

番にある NMI マスクレジスタを使ってオフにすることができる (似たような機能はほかの IBM コンピュータにもあるが、ポートは異なる)。00h をこのレジスタにロードすると、NMI はマスクされ、コンピュータがパリティエラーによって中断することはなくなる。レジスタに 80h をロードすると、NMI がふたたび有効になる。表 6-1 は DOSの DEBUG プログラムでこの操作を行う一例である。

表 6-1 DEBUG を使って NMI をオフにする方法

入力手順	説明
NMI をオフにして	パリティエラーでシステムが停止しないようにする手順
DEBUG	DEBUG プログラムをロードする
-rax	AX レジスタを読む
AX 0000	現在の AX 値が表示される
;0a	ポート 0A (hex) にレジスタをロードする
-0 00	AX のポートに 00 (hex) を出力する
-q	DEBUG プログラムを終了して DOS に戻る
NMI をオンにして	パリティエラー検出でシステムが停止するようにする手順
DEBUG	DEBUG プログラムをロードする
-rax	AX レジスタを読む
AX 0000	(現在の AX 値が表示される)
;0a	ポート 0A (hex) にレジスタをロードする
-o 80	AX のポートに 00 (hex) を出力する
-q	DEBUG プログラムを終了して DOS に戻る

NOTE: ポート 0Ah は、PC クラスのマシン用で、AT クラスのマシンではポート 070h を使って NMI が制御される。AT マシンで上記の手順を行う場合は、ポート番号にはこの値を使用する。

XTの8番スロット

通常、バスのコネクタは、位置が同じなら信号はまったく同じである。IBM 環境ではこれが原則となっているが、例外もある。IBM XT システムの電源の一番近くにある短い8番スロットがそれで、ほかのIBM PCの8ビットのバススロットとは電気的に異なっている。このスロットでは、最初のPC バスでは予約状態(未使用)の接続が、カード選択機能に割り当てられている。

ほかの拡張スロットとは異なり、XTの8番ス

ロットはほかのスロットから電気的に切り離されている。通常の動作では、システムボードのドライバは8番スロットを無視する。カード選択ラインがアクティブの場合のみ、システムボードはそれに応答してカード上の回路と接続する。接続された後の分離はカード自身が制御する。これは、特殊な目的のアダプタ(たとえば3270 PCのマルチボードエミュレーション機能など)を想定した結果生まれた機能である。

8番スロットに対応していない拡張ボードをそ

こに装着しても、正常には動作しない。8番スロッ トに対応していない製品は少なく、通常はその旨 互換性を確認し、必要ならそのセットアップを修 の注意書きが明記されているはずだ。短い PC バ ス用の拡張カードのベンダーの多くは、この特殊 な拡張スロットに対応できるように、製品にジャ ンパスイッチか DIP スイッチを付けている。この

スロットを使用する際には、接続したいボードの 正しなければならない。

表 6-2 は標準の XT の拡張バスのピン配列で ある。

表 6-2 8ビット PC バスのピン配列

ピン	信号	ピン	信号
B1	グランド	A1	I/O チャネルチェック
B2	リセットドライブ	A2	データ7
B3	+5V/DC	A3	データ 6
B4	割り込み要求 2	A4	データ5
B5	−5V/DC	A5	データ4
B6	DMA 要求 2	A6	データ3
B7	−12V / DC	A7	データ2
В8	カード選択 (XT のみ)	A8	データ1
В9	+12V/DC	A9	データ 0
B10	グランド	A10	I/O チャネルレディ
B11	メモリライト	A11	アドレスイネーブル
B12	メモリリード	A12	アドレス 19
B13	I/Oライト	A13	アドレス 18
B14	I/O 1) - F	A14	アドレス 17
B15	DMA アクノリッジ 3	A15	アドレス 16
B16	DMA 要求 3	A16	アドレス 15
B17	DMA アクノリッジ 1	A17	アドレス 14
B18	DMA 要求 1	A18	アドレス 13
B19	DMA アクノリッジ 0	A19	アドレス 12
B20	クロック	A20	アドレス 11
B21	割り込み要求7	A21	アドレス 10
B22	割り込み要求6	A22	アドレス 9
B23	割り込み要求5	A23	アドレス8
B24	割り込み要求 4	A24	アドレス7
B25	割り込み要求3	A25	アドレス 6
B26	DMA アクノリッジ 2	A26	アドレス5
B27	ターミナルカウント	A27	アドレス 4
B28	アドレスラッチイネーブル	A28	アドレス3
B29	+5V/DC	A29	アドレス 2
B30	オシレータ	A30	アドレス1
B31	グランド	A31	アドレス 0

6.3 16ビットATバスへの拡張

AT が登場するまでの3年の間に、最初のPC バスにも、様々な欠点が指摘されるようになった。 マイクロプロセッサ (8088 はそろそろ過去のもの になろうとしていた)の能力に限りがあるため、PC バスでは、メモリのハンドリングやデータパスの 幅に限界があり、また、業界の唯一の標準となる ようなデスクトッププラットフォームへ成長する には、PCにはシステムサービスが少なすぎたの である。たとえば、システムの多くは、拡張スロッ トか不足する以前に、まずハードウェア割り込み が足りなくなってしまっていた。そのとき、技術 者たちの目の前には、おびただしい数の PC バス 用拡張機器があったが(その多くは IBM 製であっ た)、バスが変わるようなことがあれば、そのいず れもが互換性のないものになってしまう。バスを 最初から設計し直すとすれば、拡張機器もまった く別のものを作らざるを得ないことになり、互換 機メーカーは、IBM マシンの標準たる地位がゆる ぎかねないほど反発しただろう。

こうした相反する要求を満たそうとした結果、新しい AT バスが誕生した。この AT バスは PC 用の拡張機器にも対応しながら、16 ビットのテクノロジーをフルに生かせる機能も搭載できるという、まさにハイブリッドなバスであった。さらに、後のマイクロチャネルを彷彿とさせる、いやその前兆ともいえる新しいアイデア(少なくとも PC 互換機にとっては)が採用されている。AT バスに本来備わっているこの機能は、まったく使用されることはなかったが、1 つのシステムに 2 つのマイクロプロセッサを共存させることが可能で、そのどちらのマイクロプロセッサも制御能力を有し、リソースを共有することができるのである。

PC/XT バスと AT バスの物理的な大きな違いは、新たにコネクタが追加されたことである。このコネクタによって、AT バスにはアドレスライ

ンが 4本、データラインが 8本増えて、それぞれ合計 16本と 24本となり、80286 チップの物理アドレスの限界である 16M バイトにも充分対応できるようになった。また、PC バスの拡張性を制限してしまっていた問題を解消するため、AT バスは新しい割り込みラインと DMA 制御ラインも数本ずつ備えた。加えて、IBM は新しい接続を追加している。そのうち1つは、拡張ボードが、IBM パーソナルコンピュータの 8 ビットおよび 16 ビットラインのどちらとも互換性が持てるようにするものである。この接続によって、装着されたカードが PC バス、AT バスのどちらを使用するのか信号でホストに知らされるのである。

このように、すでに定着していた 62 ピンのコネクタを設計しなおすのではなく、新たに別のコネクタ1 基を加えて必要な新しいバスの接続を増やすという、単純かつ画期的なひらめきによって、PC バスとの物理的な互換性の維持は実現された。8 ビットのインターフェイスしか必要ない拡張カードや、プロテクトモードメモリやほかの進んだ AT のシステムサービスにアクセスする必要のない拡張カードを、8 ビットおよび 16 ビットの IBM 標準マシンと完全に互換性を持つように設計できたのである。拡張カードは、追加されたコネクタを通して、AT の速度と高い性能を享受できる。この設計によって、拡張カードは、装着されたホストに合わせて、8 ビットあるいは 16 ビットの拡張機能を使用することさえできる。

また AT 設計は、ほとんど直接に接続されていたマイクロプロセッサとバスの間を、分離できるように設計されていた。したがって、マイクロプロセッサと拡張バス(システムタイマも同様である)は、それぞれ別のクロックを使用できるのである。これにより、拡張バスは、マイクロプロセッサの速度よりも遅く動作することが可能となった。

AT バスは、様々な部分で満足のできる仕様であることが分かったため、規格認定機関である IEEE (電気電子学会) は、バスタイミングも含めたバスの標準規格を制定するための委員会を設置した。つまり、AT バスが標準たるバスであることが、

IEEE によって認められたのである。以来、AT バスはインダストリアルスタンダードアーキテクチャとして知られるようになった。現在では ISA、クラシックバス、AT バスなどとも呼ばれている。表6-3 に 16 ビット AT バスのピン配列を示す。

表 6-3 標準 16 ビット AT 拡張バスのピン配列

ピン	信号	ピン	信号
B1	グランド	A1	I/O チャネルチェック
B2	リセットドライバ	A2	データ7
В3	+5V/DC	A3	データ 6
B4	割り込み要求9	A4	データ5
B5	-5V/DC	A5	データ4
В6	DMA 要求 2	A6	データ 3
В7	-12V/DC	A7	データ2
В8	ゼロウエイトステート	A8	データ1
В9	+12V/DC	A9	データ 0
B10	グランド	A10	I/O チャネルレディ
B11	リアルメモリライト	A11	アドレスイネーブル
B12	リアルメモリリード	A12	アドレス 19
B13	I/O ライト	A13	アドレス 18
B14	I/O リード	A14	アドレス 17
B15	DMA アクノリッジ 3	A15	アドレス 16
B16	DMA 要求 3	A16	アドレス 15
B17	DMA アクノリッジ 1	A17	アドレス 14
B18	DMA 要求 1	A18	アドレス 13
B19	リフレッシュ	A19	アドレス 12
B20	クロック	A20	アドレス 11
B21	割り込み要求7	A21	アドレス 10
B22	割り込み要求6	A22	アドレス 9
B23	割り込み要求5	A23	アドレス8
B24	割り込み要求 4	A24	アドレス7
B25	割り込み要求3	A25	アドレス 6
B26	DMA アクノリッジ 2	A26	アドレス 5
B27	ターミナルカウント	A27	アドレス4
B28	アドレスラッチイネーブル	A28	アドレス3
B29	+5V/DC	A29	アドレス 2
B30	オシレータ	A30	アドレス1
B31	グランド	A31	アドレス 0

ピン	信号	ピン	信号
D1	メモリ 16 ビットチップセレクト	C1	システムバスハイイネーブル
D2	I/O16 ビットチップセレクト	C2	未ラッチアドレス 23
D3	割り込み要求10	C3	未ラッチアドレス 22
D4	割り込み要求11	C4	未ラッチアドレス 21
D5	割り込み要求 12	C5	未ラッチアドレス 20
D6	割り込み要求 15	C6	未ラッチアドレス 19
D7	割り込み要求14	C7	未ラッチアドレス 18
D8	DMA アクノリッジ 0	C8	未ラッチアドレス 17
D9	DMA 要求 0	C9	メモリリード
D10	DMA アクノリッジ 5	C10	メモリライト
D11	DMA 要求 5	C11	データ8
D12	DMA アクノリッジ 6	C12	データ9
D13	DMA 要求 6	C13	データ 10
D14	DMA アクノリッジ 7	C14	データ 11
D15	DMA 要求 7	C15	データ 12
D16	+5V/DC	C16	データ 13
D17	マスタ	C17	データ 14
D18	グランド	C18	データ 15

16ビットのデータバス

8 ビットから 16 ビットへとデータビットを拡大 すると、データラインを 8 本追加しなければなら ない。この追加された 8 本には、8~15 までの番 号が割り当てられており、8 を先頭に数字が大き くなるに従って、上位の桁になる。

1台のコンピュータの中に、8ビットと16ビットの両方のデバイスが同時に存在することは可能であるが、その場合、メモリや入出力操作を何ビットで行っているのかを示す機能が必要になる。IBMは、この目的に様々な信号を使用している。1つはシステムバスハイイネーブルと呼ばれる信号で、これは16ビットデータの転送時のみアクティブになる。さらにこのとき、拡張カードは、メモリ16ビットチップセレクト信号を使って、データの転送を16ビットの操作で行っていることをホストシステムに知らせる。どちらの信号が使われるかは、転送がメモリで行われているのか I/O 装置で行われているのかによって決まる。

メモリのアクセス速度を落とす信号としては、 I/O チャネルレディ信号があるが、このほかに、 AT バスには速度を上げる信号もある。ゼロウェ イトステート信号は、現在のバスサイクルが、ウェ イトステートなしで完了できることを知らせるも のである。

24ビットのアドレス指定

AT に採用されている 80286 マイクロプロセッサでは、物理アドレス領域が 16M バイトあるが、これに対応するため、IBM は AT バスのアドレスラインを、4 本増やすのではなく、一気に8本増やして24本にした。

新しいアドレスラインは、"ラッチしない"という点でそれまでのものとは違っている。すなわち、メモリサイクルの間、システムボードにアドレスの値は保持されないのである。代わりに、アドレス値は、メモリ読み書きコマンドが与えられた時点にのみ有効で、この後は不定になる。必要な間だけアドレスを保持する責任は、拡張ボードが持

つ。この技術によって、バスの高速化を図ってい るのである。

ATバスのメモリリードとメモリライトの機能は、追加されたコネクタのほうへ移された。PCバス(8ビット)でこれらの機能に使用されていた接続は、リアルモードメモリの操作だけに使われている。

リアルモードのアドレス領域の 1M バイト内でメモリの転送を行う際は、新旧両方のメモリリードとメモリライトのラインがアクティブになっていなければならない。一方、1M バイトの範囲を超えた領域で読み書きしようとする場合には、追加コネクタのメモリリードとメモリライトのラインだけがアクティブになる。したがって、8 ビットのカードは、1M バイトを超える範囲のメモリアクセスについては、コマンドを受けることも出すこともない。

追加されたシステムサービス

マルチシリアルポート、ハードディスク、テープシステムなどの周辺機器を、PCやXTに接続した際にたびたび発生したDMAチャンネルと割り込みの不足を解消するために、IBMはそれぞれを事実上2倍に増やした。DMAコントローラは2組になり(そのうち4本は8ビットチャネル用、残り4本は16ビットチャネル用)、1組はシステムボード専用に当てられている。DMAチャンネルの機能と優先順位はPCのパターンを踏襲しており、DMAチャネル0が最も優先度が高く、7が最も低い。

また、ほぼ 2 倍になった割り込みには 8 から 15 までの番号が与えられたが、そのすべてが拡張バス上に現れるわけではなく、0、1、2、8、13 の 5 本はシステムボード用である。さらに、AT には

割り込みが共用できる機能が加わり、1つの割り込みで複数の機能に対応することが可能になった。

複数のマイクロプロセッサによる バスの共用

IBM は、XTの8番スロットでPCバスにさらなる性能を加えようとした。ATでは、1つのバスを複数のマイクロプロセッサが共用できる機能がサポートされている。

バス共用は DMA サイクルの働きに似ている。たとえば、2個のマイクロプロセッサがバスを共用しようとする場合、2個目のマイクロプロセッサが搭載されている拡張カードが、まず DMA 要求をアクティブにする。カードがアクノリッジを受けると、そのマイクロプロセッサがバスのマスタラインをアクティブにし、これによってバスのアドレスライン、データライン、コントロールラインのすべての制御権がそのチップに渡される。すると、短い間ではあるが、2個目のマイクロプロセッサがコンピュータを一手に引き受けることになる。

この短い間とは、メモリのリフレッシュを行うためホストに RAM へのアクセスを要求するまでの間である。もし、2個目のマイクロプロセッサが15マイクロ秒以上バスを占有しようとすると、ホストはメモリとデータを失ってしまう。2個目のマイクロプロセッサがすべての制御を牛耳っているため、ホストは自分自身のメモリをリフレッシュすることさえできなくなってしまうからである。

また、ATバスは、メモリのリフレッシュを行っている間に割り込まれるのを防ぐために、警告としてリフレッシュ中であることを示すリフレッシュ信号も出力する。

6.4 マイクロチャネルアーキテクチャ

1987年までは、バスとマイクロプロセッサの速度差は、パーソナルコンピュータの性能を抑えてしまう諸悪の根元と見なされていた。マイクロプロセッサがますます高速化していく一方で、バスは8MHzのままであり、拡張バスはどのパーソナルコンピュータでも明らかにボトルネックになっていた。パーソナルコンピュータ業界では、新しい規格の必要性が高まるばかりだった。

IBM は、「PS/2シリーズ」を発表してこの問題の解決策を打ち出した。この自信作の設計は、ISAバスとはまったく異なり、メインフレームコンピュータで使われていた技術を数多く採用していた。完全な優先順位機能を持ったアービトレーションを行うバスマスタもその一例である。さらにこの新しい設計によって、32ビット拡張機器の標準規格がなかったパーソナルコンピュータ業界に、IBM 認定の32ビット拡張バス規格がもたらされることになった。

この新しいバスは、ハイエンドの PS/2 シリーズを実現する上で大きな役割を果たした。 その設計は、PC バスや AT バスとはまったく異なるため、IBM はこれにマイクロチャネルアーキテクチャ (Micro Channel Architecture) という新しい名前を付けた (これは IBM の登録商標であり、略して MCA と呼ばれることもあるが、このイニシャルは、かつては Music Company of America として知られた映画、メディアの複合企業の登録商標でもある)。

マイクロチャネルは、パーソナルコンピュータ 史上で最も真価を認められなかった技術革新であるといえるかもしれない。そうなったのも、マイクロチャネルの登場があまりにも思いがけないものであり、また、多くの点で望まれていたものではなかったからである。PS/2が誕生する前に、パーソナルコンピュータ業界が求めていたのは、PCバスを土台としたそれまでの規格の延長線上にある、32 ビット拡張機器の標準規格であった。ユーザーもメーカーも、PCバスの仕様に沿った ハードウェアに多大な投資を行っており、PCバス 規格を諦めなければならないということになれば、 その投資はきわめて高いものになってしまう。PC バス準拠のパーソナルコンピュータや拡張カード の製造に、多額の資金をつぎ込んでいた多くの人 は、すんなりと新しい標準を受け入れることはで きなかったのである。

しかし、それ以外のことに目を向ければ、PCバスの時代が終わっていたのは明らかであった。PCバスを使っていた80386マシンは、遅いバス速度のためにその性能がかなり制限されていた。Intelの25MHzスロットでさえ、適当な間に合わせにすぎず、インターフェイスの時代だというのに、その高速動作を制限してしまうという設計上の問題は解決されないのである。

過去を完全に断ち切れば、システムは自由になれる。おそらく、PCバスの生みの親である IBM こそが、PCバスに代わる(少なくとも、そういう検討対象となる)標準規格を作ることができる世界で唯一の企業であった。

マイクロチャネルとその歴史を見ていると、性能の追求が必ずしも開発の動機ではないということがわかる。IBM によると、マイクロチャネルの開発は 1983 年頃にはすでに始まっていたという。これは、PC バスを拡張した AT が世に出る以前のことであり、つまり、マイクロチャネルのヒントは AT の中にあったとしても少しも不思議ではないことになる。

マイクロチャネル規格

IBM は、プロセッサの32 ビットへの移行が本格化したのを機に、マイクロチャネルを発表した。だが、アップグレードを目指したわけではなく、単に拡張スロットを見直し、最先端技術に歩調を合わせた結果として、マイクロチャネルが生まれただけである。マイクロチャネルは、ハイエンドPS/2シリーズ(32 ビットマシンと同様16 ビットマシンにも)にパワフルな新しい能力を与えた。そ

の能力とは、PS/2シリーズをより高性能のメインフレームコンピュータに一歩近づけるような、いわばパーソナルコンピュータの仕組みを根本から変えてしまうようなものである。

とはいえ、すべての PS/2 マシンがマイクロチャネルを採用していたわけではない。最初のマイクロチャネルマシンは「モデル 50」という機種で、以後それを発展させていくのだが、モデル 50以前の PS/2 マシンは、少し変更を加えた PC バスを使っていた。変更といっても物理的にひっくり返しただけで、電気的には何ら変わるところはない。

マイクロチャネルには、多くの素晴らしい仕様や技術が含まれており、これを簡単に説明したり、

理解するのは難しい。その様々な仕様や技術を一言で表わそうとしたら、このマイクロチャネルという専門用語を使うよりほか仕方がない。マイクロチャネルは高性能な PS/2 マシンにおいて、様々な回路要素や内部周辺機器をつなぐ、改めて定義された標準規格である。

マイクロチャネルアーキテクチャでは、PS/2 に採用されているバスコネクタの大きさや物理的な配置、そして、このバスコネクタが運ぶ電気信号、システム全体がどのように動くかを決める論理機能が定義されている。

表 6-4 は、16 ビットのマイクロチャネルのピン 配列および、32 ビットメモリ、ビデオメモリ、マッ チドメモリの各拡張信号である。

表 6-4 マイクロチャネルとその拡張

ピン	機能	ピン	機能
マイクロチ・	ャネル8ビット部		
A01	カードセットアップ	B01	オーディオグランド
A02	Made 24	B02	オーディオ
A03	グランド	B03	グランド
A04	アドレス11	B04	14.3MHz オシレータ
A05	アドレス 10	B05	グランド
A06	アドレス 09	B06	アドレス 23
A07	+5V/DC	B07	アドレス 22
A08	アドレス 08	B08	アドレス 21
A09	アドレス 07	B09	グランド
A10	アドレス 06	B10	アドレス 20
A11	+5V/DC	B11	アドレス 19
A12	アドレス 05	B12	アドレス 18
A13	アドレス 04	B13	グランド
A14	アドレス 03	B14	アドレス 17
A15	+5V/DC	B15	アドレス 16
A16	アドレス 02	B16	アドレス 15
A17	アドレス 01	B17	グランド
A18	アドレス 00	B18	アドレス 14
A19	+12V/DC	B19	アドレス 13
A20	アドレスデコードラッチ	B20	アドレス 12
A21	プリエンプト	B21	グランド
A22	バースト	B22	割り込み 09

ピン	機能		ピン	機能
A23	-12V/DC		B23	割り込み 03
A24	アービトレーション 00		B24	割り込み 04
A25	アービトレーション 01		B25	グランド
A26	アービトレーション 02		B26	割り込み 05
A27	-12V/DC		B27	割り込み 06
A28	アービトレーション 03		B28	割り込み 07
A29	アービトレーション許可		B29	グランド
A30	ターミナルカウント		B30	予約
A31	+5V/DC	*	B31	予約
A32	ステータスビット 0		B32	チャネルチェック
A33	ステータスビット1		B33	グランド
A34	メモリ/入出力		B34	コマンド
A35	+12V/DC		B35	チャネルレディリターン
A36	カードレディ		B36	カードセレクトフィードバック
A37	データライン 00		B37	グランド
A38	データライン 02	5	B38	データライン 01
A39	+5V/DC	28	B39	データライン 03
A40	データライン 05		B40	データライン 04
A41	データライン 06		B41	グランド
A42	データライン 07	19	B42	チャネルリセット
A43	グランド	ost I	B43	予約
A44	データサイズ 16 リターン		B44	予約
A45	リフレッシュ	00	B45	グランド
A46	キー(未接続)	uri'-l	B46	キー(未接続)
マイクロチャ	マネル 16 ビット拡張			
A47	キー(未接続)		B47	キー(未接続)
A48	+5V/DC	en l	B48	データライン 08
A49	データライン 10	NY I	B49	データライン 08
A50	データライン 11	10	B50	グランド
A51	データライン 13		B51	データライン 12
A52	+12V/DC	153	B52	データライン 14
A53	予約	CES .	B53	データライン 15
A54	ステータスバイトハイイネーブ	ル	B54	グランド
A55	カードデータサイズ 16	(2)	B55	割り込み 10
A56	+5V/DC	15	B56	割り込み 11
A57	割り込み 14	NE .	B57	割り込み 12
A58	割り込み 15		B58	グランド

ピン	機能	ピン	機能
マイクロチ	ャネル 32 ビット拡張		
A59	予約	B59	予約
A60	予約	B60	予約
A61	グランド	B61	予約
A62	予約	B62	予約
A63	予約	B63	グランド
A64	予約	B64	データライン 16
A65	+12V/DC	B65	データライン 17
A66	データライン 19	B66	データライン 18
A67	データライン 20	B67	グランド
A68	データライン 21	B68	データライン 22
A69	+5V/DC	B69	データライン 23
A70	データライン 24	B70	予約
A71	データライン 25	B71	グランド
A72	データライン 26	B72	データライン 27
A73	+5V/DC	B73	データライン 28
A74	データライン 30	B74	データライン 29
A75	データライン 31	B75	グランド
A76	予約	B76	バイトイネーブル 0
A77	+12V/DC	B77	バイトイネーブル1
A78	バイトイネーブル 3	B78	バイトイネーブル 2
A79	データサイズ 32 リターン	B79	グランド
A80	カードデータサイズ 32	B80	トランスレート 32
A81	+12V/DC	B81	アドレス 24
A82	アドレス 26	B82	アドレス 25
A83	アドレス 27	B83	グランド
A84	アドレス 28	B84	アドレス 29
A85	+5V/DC	B85	アドレス 30
A86	予約	B86	アドレス 31
A87	予約	B87	グランド
A88	予約	B88	予約
A89	グランド	B89	予約

ピン	機能	VW.	ピン	機能	
マイクロチ	ャネル補助ビデオ拡張				
AV10	垂直同期	10-10	BV10	ESYNC	
AV09	水平同期		BV09	グランド	
AV08	ブランキング		BV08	ビデオデータ5	
AV07	グランド		BV07	ビデオデータ 4	
AV06	ビデオデータ 6		BV06	ビデオデータ3	
AV05	ED クロック		BV05	グランド	
AV04	ドットクロック		BV04	ビデオデータ 2	
マイクロチ	ャネル 32 ビット拡張				
AV03	グランド		BV03	ビデオデータ1	
AV02	ビデオデータ7		BV02	ビデオデータ 0	
AV01	Eビデオ		BV01	グランド	
AV00	キー(未接続)		BV00	キー(未接続)	
マイクロチ	ャネル 32 ビットマッチドメモリ拡張	E			
AM04	予約	mal	BM04	グランド	
AM03	マッチドメモリサイクルコマ	ンド	BM03	予約	
AM02	グランド		BM02	マッチドメモリサイクル要素	艿
AM01	マッチドメモリサイクル		BM01	予約	

新しいコネクタ

PCバスと比べると、MCAには些細なようだが明らかに違う点がある。マイクロチャネルが、PCバスのものより小さなコネクタを採用したという、物理的な違いである。ところが、そのためだけに、PCバス規格に沿って作られた多くのハードウェアは、マイクロチャネルと互換性を保つことができなかった。

このコネクタの選択は、必ずしも正しかったとはいえない。IBM はこの一撃でサードパーティの周辺機器を、時代の後方へ追いやってしまったのである。IBM は、マイクロチャネルの設計が他社より一歩進んだものであり、PS/2の価値を高めるものであることに満足していた。

もし、拡張機器の開発、製造メーカーが、PC 対応の拡張機器に何億という巨額の資金をつぎ込んでいなければ、小型コネクタ採用の利点にも目がいっただろう。利点の1つは、小さなスペースにより多くの機能を詰め込んだ小型マイクロチップなどの表面実装部品を使用した拡張ボードの設計

が容易になるということだ。マイクロチャネルのコネクタのピン間隔 (0.050 インチ) は、この表面 実装回路部品のピン間隔に対応しているので、設計者や製図機の仕事はだいぶ楽になる。反対に欠点をあげるとすれば、回路ボードへのハンダ付けに特殊な機械が必要なため、小規模な工場で製造している業者には作るのが難しくなってしまったことである。

小型化

IBM はコネクタ、表面実装部品に続いて、拡張ボードの小型化も行った。AT 用ボードが4.75×13.5インチだったのに対し、マイクロチャネル用は3.5×11.5インチである(図6-1参照)。ある意味では、表面実装部品がボードを小さくしたともいえる。必要な電力が減ったために放出される熱も減り、その結果、小さくしても問題なくなったからである。パーソナルコンピュータを使うだけで、設計や組み立ての必要がないユーザーにとっては、このような小型化は朗報であろう。

パーソナルコンピュータや周辺機器を立体的に積めば、その分だけ机上に余裕ができるからだ。

当初は、ほかのマシンも小型化される予定だったが、残念なことになかなか達成されなかった。新しいバスが導入された最初の年に IBM が発表したマイクロチャネル対応マシンのうち、モデル 50だけがその特性を生かして小型化されただけだった。同じ初期のマシンでも「モデル 60」、「モデル

80」は、実際にはPCよりも大きいという状態であった。

ボードの小型化は、メーカーにもコストが抑えられるというメリットがあるが、それは最初の開発を終えた後の話である。ボード本体の部材であるエポキシ樹脂はそれだけ少なくてすむが、部品や開発費や人件費に比べれば微々たるものである。

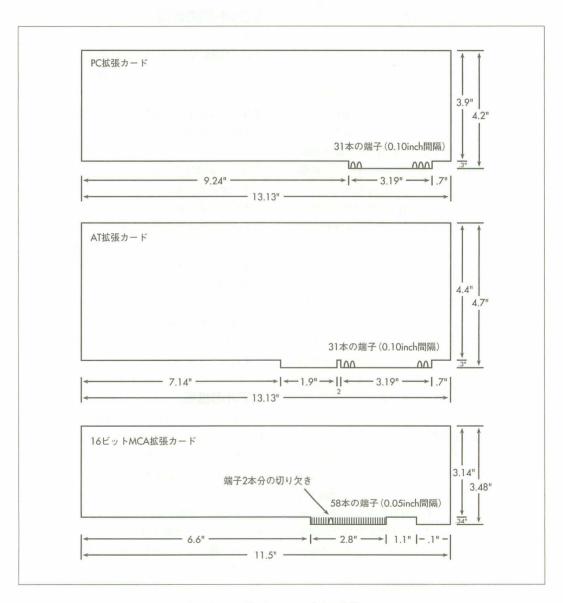


図 6-1 拡張カードの寸法の比較

雷波干渉の減少

電波干渉の点から見れば、マイクロチャネルは PCバスと比べて飛躍的に進歩した。信号の配列をまったく変え、4ピンごとにグランドを設けたためである。このようにグランドがたくさんあり、それらが高周波デジタル信号に近接されていることにより、PCやATより電波干渉を減らすことに成功したのである。これでFCC(連邦通信委員会)の認可を取り付けるのも以前より簡単になり、設計担当者を夜通し悩ませることもなくなった。

高速化

信号の配列が改善されたことにより、拡張ボードの動作も速くなった。つまり、バスの帯域幅が広がったために、周波数とデータ転送速度が上がったのである。マイクロチャネルは、最初のモデルですでに 8MHz の壁を破り、最高 10MHz を達成していた。20MHz の「モデル80-111」でも拡張バスは 10MHz で動作している。もちろん、マイクロチャネルの設計は 10MHz が絶対的な限界ではなく、今後さらに高速なシステムが生まれるのは明らかである。

信号の改良

信号の配列やコネクタが変わったということは、マイクロチャネルの革新の中の、ほんの一部分にすぎない。この新しいバスはデータライン、アドレスラインの本数が増え、オーディオ、ビデオ情報用のチャネルができるなど、これまで思いもよらなかった新機能が加わっている。

データラインの増加

マイクロチャネルはデータラインを 16 本増やした。これこそマイクロチャネルで最も期待されていた革新である。その結果、データバスの幅が 32 ビットになり、メモリや入出力装置などバスに接続された周辺機器に、ほかの条件が同じならばそれまでの 2 倍の速度でアクセスできるようになった。マイクロチャネルは 32 ビットデータバスに対して IBM だけが認めた標準規格である。

アドレスラインの増加

増えたのはデータラインだけではない。アドレスラインも24本から32本となり、アドレスバスは8ビット増えた。その結果、サードパーティの80386AT互換機を抜き去り、アドレス可能な最大メモリ領域は、ATバスの16Mバイトから4Gバイト(1Gバイト=約10億バイト)へと飛躍的に拡大した。

サウンド面の改良

16 ビット、32 ビットどちらのマイクロチャネルでも、IBM のバス構造では中程度の忠実度のアナログオーディオ信号 (たとえば合成された声や音楽) が、1 つのチャネルに統合されている。周波数の幅は最高約 10KHz (技術的には 50Hz から10KHz±3db が可能) と、多少のノイズはあるかもしれないが、FM ラジオ並みのすぐれた音質が期待できる設計である。

オーディオ信号はマイクロチャネルでは唯一のアナログ信号である。マイクロチャネル仕様では、アナログ信号の最高値 2500mV に対して、50mV のレベルまでのアナログノイズを許容している。信号に紛れ込む可能性のあるノイズの比率は、約32db である。

このオーディオチャネルは、拡張機能としてバスに設けられているため、このチャネル上の拡張カードは、オーディオ信号の送受信や処理を独立して行うことができる。

ビデオの拡張

マイクロチャネルのビデオ機能の拡張は、通常 PS/2 マシンだけにあるスロットの、小さな補助 コネクタで行われる。拡張カードはこのコネクタを 使って、PS/2 に装備されているビデオグラフィックアレイ (VGA) 回路にアクセスすることができる。 VGA の速度を上げたければ、ビデオコプロセッサカードを装着することもできるが、その場合は、本体シャシーのビデオコネクタを通してモニタに接続することになる。拡張カードと VGA は、アナログ信号でビデオ情報をやりとりするが、実は、バス内でデジタル信号のビデオ情報をやりとりするよりも、そのほうが速いからである。

ビデオ拡張では、重要な信号を使用する。水平垂直同期信号と ESYNC 信号 (Enable Sync.) という特殊な制御ラインである。このラインによって、ビデオシステムで使われる同期信号を出力するのが、プレーナーボードなのかマイクロチャネルに接続されたアダプタなのかが示される。 ESYNC は、通常論理的にハイに保たれており、ローにすればシステムはマイクロチャネルのアダプタの同期信号を使用できるようになる。

ビデオデータは、8本の**ビデオデータライン**を使って、マイクロチャネルのビデオ拡張部を転送される。このデータがシステムボードの VGA のD/A 変換器を動作させる。

また、マイクロチャネルには、2本のクロック信号と特殊なブランキング信号もある。後者は VGA の D/A 変換器の出力をやめさせて画面をブランクにする。この信号がハイだと画面が表示され、ローだと消灯される。

バスアービトレーション

マイクロチャネルの設計が PC バスと大きく変わった点は、ハードウェアを介したバスアービトレーション (調停) 機能が加わったことである。これによって PS/2 は、ミニコンピュータ並みの性能を備えることになった。 PC バスは、1 個のマイクロプロセッサからの要求を、一度に1つずつしか扱えなかったが、マイクロチャネルを採用した PS/2 では、複数のマイクロプロセッサと周辺装置が整然とバスを共有できる。これにより、マルチタスクのみならず並行処理をも可能にしたのである。

その鍵は、ハードウェアのアービトレーションにある。ATもバスの共有はできたが、そのためには、システムを制御する特殊なソフトウェアを必要とした。優先権のアービトレーションは、すべてプログラムに頼っていたにもかかわらず、その手法は、プログラマに対してはほとんど公開されていなかった。マイクロチャネルで初めてハードウェアによるアービトレーションが実現したが、もとはといえばこの発想は、メインフレームコンピュータのものだった。IBMはこの分野では専門的な技術を持っているのである。

現在の PS/2 では、ハードウェアのバスアービトレーションは、最大 8 個のマイクロプロセッサと、8 つのデバイス (DMA コントローラなど) に対して行うことができる。これらすべてで1 つのバスを共有できるのである。その際、互いに干渉し合うこともなければ、システム制御用のプログラムも必要ない。通信機能をより高めるコプロセッサや、解像度の高いグラフィックサブシステムも、まず安心して PS/2 に増設することができる。そしてこのとき、プログラマがコードのタイミングに気を配る必要もない。

このハードウェアによるアービトレーションが加わったことで、過去のバスとの互換性は保てなくなった。システムを正常に動作させるためには、すべての拡張カードは(つまり、バスアービトレーションを利用しない拡張カードも含めて)、その回路を組み込まなければならない。たとえバスが改良されなくても、拡張カードはその必要がある。それだけで、拡張カードの回路を完全に設計しなおす必要が出てくる。しかし、カードを再設計すれば、それ以外のマイクロチャネルの機能も同時に使えるようになるという利点もある。

新しい設定手順

このコンセプトの変更はまた、マイクロチャネルのプログラマブルオプション選択 (POS) 機能にも見られた。これはインストールやシステムの機能拡張が、以前のパーソナルコンピュータよりさらに簡単に、しかも確実に行えるように設計されたものである。したがって POS では、システムの設定を、悪魔払いの儀式のような不可解なものにしていた、DIP スイッチやジャンパスイッチ、ヘッダなどは必要ない。

バッテリでバックアップされた消費電力の少ない CMOS メモリを使って、AT ではディスクドライブのタイプとメモリの配分を記憶しているが、同様に PS/2 では、ここにハードウェア構成を記憶している。たとえば、どのボードがどの拡張スロットに装着されているかといったことや、ボードがほかのシステムの部分とどのような関係にあるのかというようなことが、ここに記憶されるわけである。

マイクロチャネル用に設計された拡張ボードに は、コード化された専用の識別番号がファームウェ アに組み込まれている。システムが立ち上がると、 PS/2 はまず CMOS メモリに記憶されているイ ンストール済みのオプションと、ディスクドライ ブに記録されているファイルを比較し、変更点を 見つけ出してセットアップが万全であるかどうか を確認する。また識別番号は、オプションの使用 やインストールの有無を記憶した、マイクロチャ ネル用ボードのデータファイルをリンクするのに も使用される。セットアップファイルは、自動的 に、システムのリファレンスディスク内のセット アップ用ソフトの中に組み込まれる。このように して、一連のインストール手順が行われるわけで ある。この簡単でなじみやすいインストール手順 は、どんな拡張ボードも管理することができる。

さらに PS/2 では、AT や 80386 マシンを含む ほとんどの互換機にあった、デフォルトのモニタ のタイプを選択するスイッチが姿を消している。これは、モニタケーブルの信号が VGA アダプタ を自動的にモノクロ、カラーのどちらかのディス プレイに合わせてくれるため、VGA システムで は必要なくなったからである。

レベルセンス割り込み

マイクロチャネルでは、PCバス時代からの馴染み深い信号もかなり変更された。たとえば、PCバスではエッジトリガだった割り込み信号が、マイクロチャネルではレベルセンスに変わっている。以前のPCの技術に従ったシステムでは、割り込み要求が状態を変えた瞬間にしか割り込みは感知できないが、マイクロチャネルの設計では、割り込みがかかっている間なら、つねに割り込み信号がアクティブになっている。

割り込みを共有するコンピュータでは、エッジトリガ割り込みよりレベルセンス割り込みのほうが利点は多い。なぜなら、コンピュータは、割り込みがアクティブであるかどうかを判断するために、レベルセンス割り込みラインを確認するからである。その際もちろん、エッジトリガラインの存在も忘れてはならないが、レベルセンス割り込みによって拡張ボードの論理共用回路はシンプルに

なる。そのため、割り込みコントローラのノイズ や過渡特性による誤信号を検出しないようにでき る。また、同じ割り込みレベルを共有するハード ウェアとしないものを、混在させることもできる。

新しい信号

マイクロチャネルバスでは、新しく搭載された ハードウェアアービトレーション機能に使用され る信号のほかにも、いくつかの新しい信号が定義 されている。たとえば、カード選択フィードバッ ク信号は、拡張カードがしかるべきアドレスにあ ることをホストに知らせるための信号で、基本的 にはセットアップ時に、どんなオプションがイン ストールされているのかをシステムが確認するた めの、診断用として使用される。

マイクロチャネルのチャネルレディラインと、PCバスのI/Oチャネルレディラインは実質的には異なるものである。マイクロチャネルのチャネルレディラインは、バスに接続されたデバイスが、最大3.5マイクロ秒の範囲内で、動作完了時間の延長を要求するための信号を出力するのに使われる。各コネクタは、それぞれ専用の信号を持っているため、別のコネクタからの信号と混同されることはない。コネクタからの信号は、すべて論理的にORされており、そのすべてが時間延長を要求していない場合はチャネルレディリターンという別の信号が生成されるので、バスの状態の監視が簡単にできるようになる。

また、マイクロチャネルのコネクタは、それぞれ専用のカードセットアップラインも備えている。セットアップとエラー処理時に使用されるこのラインは、アクティブにすると、そのコネクタに接続されている拡張ボードのコンフィギュレーションデータ領域が読めるようになる。

PC バスは、メモリと入出力操作に別々のラインを使っていたが、マイクロチャネルでは、メモリ/入出力、ステータスピット 1、ステータスピット 2 の 3 つの信号を組み合わせて使用して、実行されるバスサイクルのタイプを定義している。

マイクロチャネルの**チャネルチェックライン**は、 PC バスの I/O チャネルチェックライン同様、パリティエラーのような重大なエラーの発生を知ら せるのに使われる。

マイクロチャネルには、コネクタに装着された各カードのバス幅を知らせる専用の信号もある。バスに接続されたデバイスから送られるカードデータサイズ 16 信号は、拡張カードに対して、16 ビット幅の情報がやりとりできることを知らせるもので、これに対して拡張カード側は、データサイズ 16 リターン信号を返して 16 ビットのデータが扱えることを確認する。同じように、カードデータサイズ 32 信号とデータサイズ 32 リターン信号は、80386 搭載の PS/2 マシン (モデル 70、80 など)で使用され、32 ビットの動作が可能であることを通知、確認するものである。

バイトイネーブルビット 0~3 の各信号は、バス 内で行われているデータ転送がどのタイプである のかを識別するのに使用される。この信号のおか げで、マイクロチャネル用のアダプタは、8 ビット、 16 ビット、24 ビット、32 ビットのいずれのデータ でも、同時にかつ確実に転送することができる。 また、これによってマイクロチャネルのアダプタ は、8 ビット、16 ビット、32 ビットいずれの拡張 機器でも、1 台のコンピュータの中で組み合わせ て使用することが可能である。

メモリアドレスイネーブル 24 信号がアクティブになっていなければ、マイクロプロセッサやバス上のほかの装置が、80286 の 24 ビットではなく、80386 の拡張された 32 ビットのアドレス指定領域を使用しているということである。

マッチドメモリサイクル

マイクロチャネルでは、バス幅が32ビットと広くなり、クロックスピードが高速化されたのに加え、32ビットバージョンのシステムでは、新しいデータ転送モードが使えるようになっている。マッチドメモリと呼ばれるこのモードによって、マイクロチャネルには、プレーナーボードと拡張ボード間の、データ転送のパルス幅の短縮が可能になったのである。このモードで使われる信号は、変わった方法で32ビット拡張を実現している。それは、デバイス間を移動するデータが、さらに速い速度で同期できることを、80386プロセッサに知らせるというものである。メモリや、16ビットまたは

32 ビットの内部周辺機器がこのような高速な値で動作できる場合、マイクロチャネルのマッチドメモリモードを使って、データ転送速度を最高 25% (1サイクル=250ナノ秒から 187ナノ秒へ) 高速化することが可能である。

マッチドメモリを装備するために、マイクロチャネルでは8つの信号が追加されている。このうち3つは将来使用するために、2つは接地用に予約されている。ホストがマッチドメモリ転送が行える状態にある場合、マッチドメモリサイクル信号がアクティブになる。また、バスに接続されたデバイスが、16 ビットまたは32 ビットのデータをマッチドメモリモードで高速転送したい場合、マッチドメモリサイクルリクエストラインをアクティブにしてその要求を伝える。3つ目の信号のマッチドメモリコマンド信号は、マッチドメモリサイクルの最中であることを示すものである。

バーストモード

最初の PC の設計では、拡張バスを移動するデー タのフローは、"フロー"という言葉が示すような スムーズなものではなかった。データ転送の際に は送信と停止を繰り返してデータを移動させなけ ればならず、そこにはつねにオーバーヘッドがつ きまとっていた。データ転送は、1バイトを移動 させるたびに、アドレスの準備をして実際にデー タを送るという2つのステップを踏まなければな らず、このスタートとストップの繰り返しがデー タフローの足かせとなっていたのである。これで はまるで、停留所があるたびに停止して客を乗り 降りさせなければならない、各駅停車の路線バス のようなもので、その遅々とした走りは永遠に終 点に着かないのではと思わせるほどである。従来 の設計では、プロセッサが、このようなデータの 渋滞状態を招く要因になる。プロセッサのみが、 データを連続したブロックの形で送ることができ るからである。

マイクロチャネルのアーキテクチャでは、デバイスがデータを一気に、あるいは大きなブロックに分けて送れるようになったことで、この問題が克服されている。これがいわゆるバーストモードで、マイクロプロセッサによる2段階のデータ転

送ではなく、入出力装置相互間で、一気にデータブロックをやりとりするのである。バーストモードではマイクロプロセッサの介入がないため、毎秒19万バイト(毎秒約152万ビット)という高速なデータ転送が可能である。また、マイクロチャネルでは、マイクロプロセッサでデータ転送が停滞することのないように、I/Oバスとメモリの間に、ブロックデータ専用の高速なパスが8本追加されている。

バーストモードも、オーバーへッドがまったくないわけではないが、それでも、PCやATのブロック転送に比べればかなり少ない。バーストモードでは、まずシステムが最初の1バイトをどこへ送るのかを指定してセットアップを行ない、続いてデータブロックが1バイトずつ次々と転送される。これは各駅停車でもなく急行でもなく、専用のチャーター便で旅をするようなもので、ある地点から目的地まで、観光客のグループはまとめて直接に運ばれるのである。

マイクロチャネルは転送の始めと終わりを示すのに、ソフトウェア信号ではなくハードウェア、つまり拡張バスにある特殊な信号を使用する。バーストモードの操作は、マイクロプロセッサの助けを借りず、マイクロテャネルの回路が制御する。したがって、マイクロプロセッサが別の動作(それ以前にバスを移動したデータの処理など)をしている間でも、バーストモード転送は可能である。

ストリーミングデータモード

最初の構想のとおり、マイクロチャネルは、ほとんどの目的や周辺機器には、現在でも十分高速に対応できる。実際には、拡張機器のほとんどは、古い ISA 接続でも十分である。しかし、技術開発競争により、最初は速かったものでも瞬く間に遅いものになってしまう。IBM は、マイクロチャネル発表からおよそ2年後には、さらに高速なバス転送が要求される時代が来るだろうと予想し、より高速なデータ転送プロトコルであるストリーミングデータモードで、マイクロチャネルの性能をさらに向上させた。

ストリーミングデータモードは、バスマスタと バススレーブ間のデータ転送を高速化するように 設計されたオプションである。したがって、すべ てのコンピュータや周辺機器がこれを使う必要は ない。このモードに対応しているシステムやデバ イスは、最高8倍までの高速なデータ転送が可能 になる。一方、これに対応していないシステムで も、互換性の問題に悩まされることはない。高速 モードでのデータ転送を要求されても、通常の転 送方法でその要求に応えればよいからである。つ まり、マイクロチャネル仕様では、システムや周 辺機器は、可能な限りの高速動作を実現すること もできるし、反対に高速転送を望まない場合でも、 互換性の問題にぶつかることはない。実際、スト リーミングデータプロトコルによって可能な限り 性能を上げようとした場合でも、システムの物理 的な構造や、コネクタのインターフェイスの機構 や電気的な定義を調整したり、現行のプロトコル を改めて定義し直す必要はない。

ストリーミングデータモードの目的は高速化であり、システムのタイミングや信号の定義を変えずに、システムのデフォルトのデータ転送速度を2倍から4倍にすることができる。システムにストリーミングデータモードがサポートされていれば、大いなる高速化が実現できる。たとえば、マイクロチャネルにはデータを二重化するテクニックがあるが、それによってデータバスの幅を32ビットから64ビットにすれば、さらに高速にストリーミングデータ転送を行うことができる。また、システムのタイミングを変えることで転送速度はさらに2倍になる。最終的には、現在のストリーミングデータプロトコルで、バスのデータ転送速度を16倍にまで高速化することが可能である。

このような進んだストリーミングデータモードも、最初はマイクロチャネルのデータ転送サイクルの標準(デフォルト)で始まる。つまり、拡張バスで1ワードを転送するために、マイクロチャネルは(ほかのバス同様)転送前にアドレスを指定しなければならず、たとえ高速なバーストモードといえども同様で、1ワード転送するたびに、アドレスのセットアップに1サイクル、データ転送に1サイクルの、計2サイクルが必要になる。

マイクロチャネル仕様では、この2段階の動作に 200ナノ秒を要する。これはバスクロック10MHz のマイクロチャネルの2サイクル分である。この 速度だと、100万分の1秒に5ワード、つまり1 秒に500万ワードを送れることになる。32ビット なら1ワードが4バイトなので、最も効率のよい データ転送速度は毎秒20Mバイトとなる。

この数字は、マイクロチャネルの最も基本的なレベルで実現可能なスループットの値である。つまり、デフォルト値のデータ転送サイクルの "瞬間転送速度"ということだ。これは、マイクロチャネルが指定のアドレスからアドレスへとデータを動かすことのできる最高速度で、マイクロチャネルマシンが、バス上でランダムにデータを転送する場合(マッチドメモリモードなどの、ほかの機能拡張がない状態)の最高速度である。システムにはオーバーヘッドがあるため、通常の転送モードでは、実転送速度でこれほどの数値を挙げることはできない。バーストモードが毎秒1,900万バイトの速度に留まっているのもこのためである。

しかし、標準のデータ転送にも1つの強みがあ る。ランダム転送ができることである。転送する たびにそれぞれのデータにアドレスを指定するた め、データの始点をランダムに選び、目的地もラ ンダムに選んでデータを転送することができるの だ。ところが、拡張バスのデータ転送では、複数 バイトまたは複数ワード単位のランダムなデータ 転送が順次行われる場合が多い。普通は、1ブロッ クのデータが一度に送られる。1ワードが送られ た直後に次のワードが送られるわけだ。このよう な場合、各バイトのアドレス指定は重複している ことになる。つまり、1,000 ワードをまとめて送る 場合、データの最初のアドレスがわかれば、後に 続く各ワードの行き先も分かる。転送に先立って 与えられるアドレスは、最初の転送が完了してし まえば後は必要ない。その次の転送では、すべて のワードやバイトの行き先は分かっているのだ。 最初のワードの転送が終了すれば、後続のワード の転送で必要になるのは、送り先のアドレスのカ ウントを続けることだけである。

1ワード送るごとに(少なくとも最初のワード以降は)1サイクルを費やしてアドレスを要求する必要がなくなったことに、マイクロチャネルのバーストモードの大きな意味がある。ストリーミング

データプロトコルでは、ワード単位で順次送られるデータのブロックについて、1サイクル、つまりアドレス指定のためのサイクルが必要ない。1ワードの転送で1サイクル減ったということは、転送時間が半分になったということであり、最初の1ワードを転送した後の転送速度は、200ナノ秒から100ナノ秒に半減する。したがって、ストリーミングデータモードでは、データブロックの転送を2倍の効率で転送することができ、理論的な最高速度は毎秒40Mバイトとなる。転送するワードを長く連続させればさせるほど、転送するデータブロックごとのセットアップに要するオーバーヘッドが少なくなるため、全体的な転送速度は増し、最高速度へ近づいていく。

ストリーミングデータモードとバーストモードは、バスの転送速度を上げるという同じ目的を持ってはいるが、両者はそのメカニズムも達成可能な速度も転送時間も違う。バーストモードは、ランダムなデータの、比較的小さいブロックを扱うように設計されている。一方、ストリーミングデータモードは、機能的にさらに拡張された逐次転送を行うことができる。バーストモードでは毎秒20Mバイトのデータ転送速度が最高であるが、ストリーミングデータモードでは、すでに定義されている転送速度の最高8倍の高速化を望むことができ、さらに高速化できる可能性も持っている。このようなストリーミングデータモードでの高速化は、データの多重化とサイクル時間の短縮によって実現できる。

データの多重化

IBM は、"マイクロチャネル2"として公表した次世代規格の中で、データ多重化というオプション機能を加えた。これは、普通の32 ビットバスで64 ビット転送をサポートできるというもので、本来は、必要のない余分なバス信号を削除するという点から生まれた発想である。マイクロチャネル仕様では、32 本のバスラインがデータを運び、別の32 本がアドレス情報を指定する。ストリーミングデータプロトコルの場合、データストリーム転送が行われている間は、後者のアドレスラインはほとんどすることがない。アドレスラインがアク

ティブになるのは、転送の流れが開始される最初 の1サイクルだけで、その後アドレスラインは、 転送が行われている間、休止したままである。

マイクロチャネルの高速化を握る鍵は、いかに 効率よくシステム資源を動かすかということにあ る。休止している32本のアドレスラインは、その 機会を無駄にしている最たるものといえる。しか し、これを一時的に追加のデータラインとして定 義しなおせば、データバスの幅を2倍にすること が可能になる。これによってデータ転送速度を2 倍にし、最高で毎秒80Mバイトという速度が実 現するわけである。

1本のワイヤで1チャネル分以上の情報を運ぶテクニックは多重化 (multiplexing) と呼ばれる。ここから、このモードは多重化ストリーミングデータモード (multiplexed streaming data mode) と呼ばれている。

バスのスループットを効率よくするために決められた速度は、ある1つの条件に基づいている。それは、マイクロチャネルが10MHzのクロックスピードを採用しているため、バスサイクル時間も10MHzであるということである。これはマイクロチャネルのデフォルト値であるが、しかし、必ずしもこの速度にしなければならないという決まりはない。事実、マイクロチャネル仕様ではこの半分の50ナノ秒での動作も可能である。バスサイクルをこのタイミングで動作させれば、ストリーミングデータモードは毎秒160Mバイトに近いスループットも実現できる。

現在、最も速いハードディスクの転送速度は毎秒 15M バイトであり、最も速いネットワークのバースト速度が毎秒 14M バイトであることを考えると、前述のような速度の規定はまったく必要性のないものに見えるかもしれない。しかし、複数のバスマスタが同時に、あるいはほぼ同時に転送を要求してくるような場合、バスの帯域幅は極限まで要求される。

また、このように究極的な高速転送が可能になれば、マイクロチャネル上に実装したメモリも、今日最高速のキャッシュメモリの要求に応えるのに十分な速さを備えることができる(33MHzで動作する32ビットマイクロプロセッサは、毎秒128M

バイトの速度でデータを要求する。これでも、マイクロチャネルの毎秒 160M バイトの範囲に十分収まる)。

バスマスタの動作

マイクロチャネル規格の"バスマスタ"や"アー ビトレーション"という言葉には、何か近づき難い 響きがあるかもしれないが、その動作は、実に単 純な概念で説明することができる。これは、バス を共用しているデバイスに、データバスの使用権 が巡ってきたこと伝える、いくつかの"信号機"(セ マフォア)として働くものだ。これは、ホストコ ンピュータ内の、最大16個の異なるデバイスが、 情報を伝える "高速道路"をうまく共有できるよう に、効率的な制御を提供する。IBM によると、マ イクロチャネルも "インターステート(米国の州間 高速道路) ″のように、安全な範囲内なら可能な限 りの速度で、どの方向にも行ける複数のレーン(車 線)を備えているという。車線の数を増やせば、よ り多くの交通をさばくことができ、システム内の データフロー速度も上げることができる。

これはなかなかうまいたとえであるが、マイクロチャネルがどういう働きをするのか実際に説明するとなると誤りである。マイクロチャネルは最大32ビットのデータ以外には、高速なデータ転送用には2つのパラレルパスしかない。1本は補助オーディオ信号用、もう1本はアナログビデオ情報用である。

もっと適切なたとえで説明するなら、マイクロチャネルをマンハッタン通りにたとえるのがいいだろう。1本の中央線が引かれ、いくつか信号の付いているこの道路は、無謀運転のタクシーや歩行者であふれており、流れが詰まってしまいそうな状態である。

マイクロチャネルはさしずめ、健気な交通警察官といったところだ。道路の渋滞を解消するべく、 度胸と根性と強い意志でもってこれに立ち向かう。 白い手袋以外は大した武装もせず、タクシーやヒッチハイカーを安全に導き、交通がうまく流れるように奮闘する警官。同じように、マイクロチャネルのハードウェアバスアービトレーションも、バスの使用権が回ってきたプロセッサに命令を出し、 何事も滞りのないように努める。そのため、データの処理は可能な限り秩序とマナーを保ちながら流れるように進む。マイクロチャネルも警官のように、代わりのデータパスを提供したり待ち時間を減らすために、ハイウェイの交通を整理し、すべてが秩序よく運ぶように制御し、衝突や事故を防いでいるのである。

マイクロチャネルのバスアービトレーションは、PS/2のデータバスにアクセスする各デバイスが使用する信号の階層化によって、上記の目的を達成している。また、2つ以上のデバイスがバスの使用権を求めている場合には、アービトレーション機構は、重複する要求を解消する手段にもなる。ハードウェアアービトレーションは、2つ以上のデバイスが、マイクロチャネルの制御を同時に占有しようとしたときにおこる混乱を防ぐ働きをするのである。

追加された信号線

このアービトレーション機能のために、マイクロチャネルにはPCバスにはなかった信号線が何本か加えられている。そのうちの4本はアービトレーションバス優先レベルで、0~3番までの番号が与えられている。これらの信号線は、マイクロチャネルを制御しようとする各デバイスに割り当てられた優先度を、コード化した信号で送信するのに使用される。優先度のレベルは16段階ある。

また、PS/2のシステムボード上には、マイクロチャネルには現われないさらに2つの優先度のレベルが設定されている。この特殊なレベルは、メモリリフレッシュ(データの内容を保持するための機能)と、マスク不能割り込み(一般にパリティチェックエラー信号として知られる)に最優先権を与えるのに使用される。

バスアービトレーションのために、さらに3つの信号が追加されている。1つはプリエンプト(Preempt)信号と呼ばれるもので、拡張カードがマイクロチャネルへのアクセス要求を伝えるために使用する。もう1つはアービトレーション/許可信号で、バスへのアクセスの調整を始めるために、マイクロチャネルの中央アービトレーション制御点(バスの使用権を制御している部分)から送

られてくる。残るはバースト信号で、これはデバイスが一連のデータブロックを転送している間は、デバイスに制御を維持させ、転送が終了するまでアービトレーションを受けなくてすむようにするためのものである。つまり、ブロックデータ転送の"Do Not Disturb (起こさないで!)"サインともいえる。

アービトレーションのプロセス

1つ以上のデバイスがマイクロチャネルの制御権を要求しようとして、中央アービトレーション制御点にそのメッセージを送ると、アービトレーションが開始される。データバスにポーズがかけられ、アービトレータがマイクロチャネルに接続されたデバイスのすべてに「これから制御権の要求を受け付ける」という意味の信号を送る。

次に、バスへのアクセスを要求するマイクロチャネルのデバイスは、4本のアービトレーションバス優先レベルラインに、割り当てられている優先レベルを送り出す。各拡張カードはその信号をチェックし、より優先レベルが高いものの存在を見つけた場合には、制御の獲得をあきらめる。マイクロチャネルは、同じ優先レベルを複数のデバイスに割り当てることのないように設計されているため、同じ優先レベルがぶつかるということはあり得ない。この優先レベルは、マイクロチャネル用の各ボー

ドに対する設定処理の際に割り当てられ、ディスク上のアダプタ記述ファイルに記憶される。アダプタ記述ファイルは、POS(前述)の実行の結果として、各マイクロチャネルデバイスの構成を記録したものである。

ハードウェアによるバスアービトレーションは、 代替テクニックであるソフトウェアによる制御を 上回る多くの利点を持つ。しかし、従来のPCアー キテクチャの場合は、このようなソフトウェアアー ビトレーションは、すべてのソフトウェアの命令 を扱うホストマイクロプロセッサに制御させなけ ればならない。このような、マイクロプロセッサを 介したプロセスには、マイクロプロセッサが各デ バイスからのすべての要求を監視し、どこに制御 権を与えるかを決めるといった、ソフトウェアの オーバーヘッドが含まれる。マイクロプロセッサ が、このような繁雑な仕事を監督するために、通 常の任務から離れなければならないと、その影響 はシステムの性能に現われることになる。さらに、 マイクロプロセッサは、つねにバスを監視しなけ ればならないため、つねに拘束されてしまう。シ ステムメモリを介して、ほかのデバイスとやり取 りしなければならないときは、マイクロプロセッ サは自分の処理に没頭しているわけにはいかない。

マイクロチャネルの場合は、バスとマイクロプロセッサの接続を断つ。拡張カードというハードウェアの中に、バスアービトレーションの機能はすべて組み込まれているため、ソフトウェアは必要ないわけだ。結局はこのほうが高速ですっきりとしたシステムになる。

バスマスタの例

マイクロチャネルのハードウェアバスアービトレーションの利点が生きてくるのは、恐らく今ではあまり重要ではないアプリケーションである、コプロセッサカードである。これは、かつてコンピュータの性能を向上させるために用いられていた、ターボボードのようなものである。

従来のPCバスのシステムでは、ビデオ信号(あるいはI/O信号)を扱うことは、ターボボードコプロセッサにとっては複雑で、ソフトウェアに頼らざるを得ない仕事になる。複雑になってしまってさらに頭が痛いのは、ディスプレイの扱いである。プログラムの多くは、データをビデオメモリに書き込むことで直接画面に出力するのだが、プログラムがコプロセッサボード上で動くときは、ホストのビデオRAMではなくボードのメモリにデータを書き込むため、ディスプレイ上には何も現れてこない。コプロセッサは、自分のアドレス領域内でビデオメモリをシミュレートし、そこに書かれたデータを受け取って通常のホストのビデオメモリへと転送しなければならない。

この二度にわたる書き込み操作や転送のプロセスは、どんなに巧みに処理しても(実際、ここ数年来ターボボードは、ビデオの処理をはかりしれ

ないほど改良しているのだが)、2つの別個のメモリシステムを使用することについて回る重いオーバーヘッドのために、実質的にビデオの更新は時間がかかる。

ところが、マイクロチャネルにとって、このような操作は実に簡単である。コプロセッサボードは、単に通常のホストのビデオメモリを、自分のアドレス領域にマップするだけである。プログラムが直接ビデオメモリに書き込む場合、コプロセッサボードはマイクロチャネルを制御し、ディスプレイ情報がどこに属するべきかを正確に定めるだけでいい。このときのオーバーへッドはわずかなもので、存分に性能が発揮できるというわけである。

コプロセッサの中には、高価なデュアルポートメモリを使ってホストとやりとりするものがある。コプロセッサがメモリの1つのポートに書き込みを行い、ホストはもう1つのポートからデータを引き出す。マイクロチャネルでは、メモリのどこの場所にあるデータでも直接的に共用することができ、通常のRAMチップでもこの目的に利用できる。

マイクロチャネルが持つ可能性として、最も興味深いものの1つは、並行処理である。この場合、マイクロプロセッサを複数にすることで、難問も小さく分けて一度に解決することができる。たとえば、モデル80のマシン1台に8個の80386マイクロプロセッサを搭載して、相応の性能を実現すれば、それは「VAX クラスタ*1」にも匹敵するかもしれない(80386 と80387を1個ずつ組み合わせるだけでも、「VAX 8600」ほどの強大な処理能力を発揮する)。

もちろん、この並行処理には、まったく新しい ソフトウェアが必要となるだろう。現在のところ は、まだ実現していない技術だが、メインフレー ムコンピュータ処理のボトルネックを打ち破る、 大きな可能性を秘めていることは間違いない。マ イクロチャネルはその可能性を、デスクトップコ ンピュータで実現しようとしているのである。

^{*1} 訳注:DEC のミニコンピュータ「VAX」を、複数台接続して並行処理をさせる形態のこと。

サブシステムコントロールブロック アーキテクチャ

バスマスタは、効果的ではあっても、単独では 役に立たない概念である。コンピュータに、ソフトウェアやオペレーティングシステムを通して、 この新しい機能を制御する手段がなければ、新し いハードウェア設計の可能性をフルに生かすこと はできない。つまり、新しいハードウェアとパー ソナルシステムのプログラムを結びつける手段が 必要なのである。

この役割を果たすのがサブシステムコントロールブロックアーキテクチャである。マイクロチャネルと同じ"アーキテクチャ"という言葉で表わされるが、サブシステムコントロールブロックアーキテクチャはソフトウェアであり、規則の集合体であり、基本原理である。その基本的な目的は、マイクロチャネルの拡張バスに接続された1つないし複数のバスマスタを、オペレーティングシステムがどのように制御するのかを定義することである。

サブシステムコントロールアーキテクチャはハードウェアのリソースを制御するための手順を、アプリケーションに提供する。つまり、データの構造(すなわちコマンドの構文)や、コンピュータシステムの各部間でデータをやりとりする方式を指定するのである。

サブシステムコントロールブロックアーキテクチャの管轄範囲は広い。たとえば、このアーキテクチャは、エラーとステータスを報告するプロトコルを備えており、そのためプログラムはすべて、標準のインターフェイスによって、システム全体のオペレーションを監視することができる。制御を続ける一方で、複数のマスタ間のシステム機能を動的に割り振ることもできる。

サブシステムコマンドブロックアーキテクチャで使われている新技術の1つに、コマンド連結がある。これは、あらかじめ指定されたアルゴリズムに従って、複数のバスマスタが、選択可能な複数のコントロールパスから、どれを選択するのかを決定するものだ。コマンド連結のパス選択機能によって、いくつかのバスマスタの操作を組み合わせて、"マクロ"としてあらかじめ定義できる。しかし、これは単なるコマンドの連続とは異なり、インタラクティブなコマンドの連鎖で、動作中にもバスマスタサブシステムは状況の変化に自由に対応することができる。

ある意味では、サブシステムコントロールブロックアーキテクチャは、システムの割り込みが必要以上に増えるのを防いでいるともいえる。自らが(割り込みから独立した)制御の手段を持ち、割り込み動作のオーバーヘッドを回避するように働くからである。実は、サブシステムコントロールブロックアーキテクチャはメインフレームコンピュータから継承した機能であり(マイクロチャネルも同様)、今後も、メインフレームコンピュータにおけるオペレーティングシステムの技術が、パーソナルシステムにもたらされるであろうことを想定しているのである。

サブシステムコントロールアーキテクチャは、 複数のインテリジェントサブシステムを備えた、 複雑なハードウェア構成を制御する基本的な手段 として有効である。サブシステムコントロールブ ロックアーキテクチャを使うと、マイクロチャネ ルの能力を拡張して、将来的に分散型多重処理(1 台のシステムに複数のマイクロプロセッサを搭載 して、離れた場所にいる複数のユーザーに、同時 にサービスを提供するもの)をサポートすること ができる。

6.5 EISA

マイクロチャネルは技術的にはすぐれていると 評価されたが、本質的にはメインフレーム技術の 粋を抜き出して、パーソナルコンピュータの大き さで具体化したものにすぎなかった。しかし、大 企業の驕りなのか、IBM はマイクロチャネルアー キテクチャ (MCA) の特許技術の使用権を拘束し、 使用に際して多額のライセンス料を要求した。こ れに対し、IBM が開発した技術を無料で使うこと に慣れていたパーソナルコンピュータ業界は、すっ かり尻込みしてしまった。さらに IBM は、PC や AT の拡張ボードと下位互換性を持つことは浅慮 な考えであるという理由について、納得のいく説 明ができなかったため、それまで"ナイチンゲー ル"のように業界に奉仕してきた会社の評判に泥 を塗ってしまい、マイクロチャネルのマーケティ ングでは、たいへんな苦労を背負うことになった。 IBM 側の言い訳は、下位互換を維持した場合、 ISA バスやボードの欠点が、新しい MCA システ ムの性能を抑制してしまうということであった。 レベルセンス割り込みなどの先進技術を採用する と、エッジトリガ割り込みを行っているような古 いボードは使用にたえなくなる。

新しい標準を作りなおすということは、物事を正す機会でもある。バスが最適な最高速度で動作するようにし、また信頼性を高めるのに絶好の機会であったはずだ。しかし多くの人は、マイクロチャネル仕様が、ほかのメーカーの製品を時代遅れにすることで、IBMがシェアを奪い返そうとしたのだと信じている。

マイクロチャネルに対するパーソナルコンピュータ業界の反応は、EISA (Extended Industrial Stan dard Architecture) を開発することだった。EISA の基本的な設計は、マイクロチャネルで実現された機能のうちで、IBM の統制下にない技術を集めたものであり、拡張バスの設計としては最も成功している。このすぐれた新しい標準規格のバスには、独自の見事なアイデアも含まれているが、実際は、ほかのバスの長所をまとめたものである。

ほかのバスや、コンピュータ業界の最もすぐれた 技術を、選りすぐって取り込んだだけなのだ。

ただしこれは、EISAが派生的な規格になったのは偶然ではないということを述べたいのであって、EISAの名誉を傷付けようという意図はない。EISAは最初の段階から独自の概念に基づいて設計されたのではなく、それまでユーザーに親しまれていた AT バスを改良したものだが、単に AT バスに 16 本の新しいデータラインをどう追加するかを指定しただけでは終わっていない。ほかのバスの長所(バスマスタ、拡張ボードの自動セットアップ、割り込みの共用などの機能と、独自の新しいデータ転送モードなどの機能を組み合わせて、EISA は高性能で有能な拡張性を実現しているのである。

もちろん逆の見方をする人々から、EISA は、「委員会に手綱を握られた馬、というよりラクダ」のようなコンピュータ、というレッテルを貼られるかもしれない。実際、EISA は、いわゆる "9 人のギャング" (AST Reserch、Compaq Computer Corp.、Epson、Hewlett-Packerd Company、NEC、Olivetti、Tandy、Wyse、Zenith Data Systems の9社)と呼ばれる競合メーカーが、IBM のマイクロチャネルに対抗する独自の標準規格を作るために、結集して作った委員会の手によるものである。委員会は、1988 年 9 月 13 日、ISA バスの流れを受け継いだ 32 ビット設計のバスを発表した。まったく違うものに作り替えるのではなく、以前のものとの互換性を残す道を選んだのである。

バックワードコンパチビリティ

「委員会」で決定されることは、しばしば"ガラクタの寄せ集め"になってしまうが、この特殊な委員会は、それとは逆の方向を目指して動いていった。委員会は、ISAこそが古いガラクタになってしまい、標準規格としてふさわしくなくなったことを認めた。最も問題だったのは、このISAバス

は、拡張カードがやりとりする方法を決めるのに必要な、バスタイミングの仕様さえ欠けていたにもかかわらず、業界を支配するまでに成長してしまったことであった。EISAは、何百社ものメーカーが別々の方向を歩み始めてから数年を経て、やっと AT バスのタイミングの仕様を正式に認定した。ボードが爆発的に氾濫し、それぞれが独自の"標準"に従っていたため、ISA バスの互換性は、信頼のおけるものではなかった。

ISA バスの将来は、それよりもっと暗いものだった。その性能の不足やデータの扱いにおける制限は、386、486マシンはいうにおよばず、286マシンの要求にさえ対応するのが難しくなってきていた。EISA 委員会の目前の仕事は、混乱の中から秩序を生み出すことだった。

ISAバスの開発メーカーである IBM にとって、 状況は芳しいものではなく、社のエンジニアは、 AT バス規格をすべて捨て去ることだけが、この 突破口であるという結論に達した。しかし、EISA 委員会は、まったく別の考えを持っていた。ユー ザーたちは、それまでに何億という金を ISA バス のアクセサリ類につぎ込んでおり、また同様に、 委員会のメンバー各社も、古いアーキテクチャに 制限された財産を抱えていた。この双方の利益を 守るため、委員会は EISA 規格を作り、パーソナ ルコンピュータ業界を巻き込んで、EISA 仕様の 製品を嵐のごとく送りだしたのである。

その基本は、ATバスとの完全なる互換である。 既存の拡張ボードはすべて、新しい高性能 EISAマシンとプラグ互換である。また、この逆は不可能だが、いくつかの大きな妥協点を諦めれば、例外的に可能なこともある。たとえば、8MHzというバス速度の制限はそのまま継続されるし、まったく新しいタイプのコネクタが必要になる。さらに、これを可能にするためには、しのぎを削り合う IBM、EISA 両陣営同士の前例のない協力も必要になる。

■ボードの寸法

新旧の規格の物理的な仕様は、明らかに似ている。EISA 拡張ボードは、AT のボードとサイズも形もまったく同じであり、最大寸法を横 13.415

インチ、縦 4.5 インチ (ボードの上から下まで) に 定められている。これは "ショートカード" と呼ば れる小さいボードで、現在でも有効である。しか し、今後の製品に、今日の PC ボードよりもさら に内部的な互換性を持たせることを目的として、 特別な変更が EISA には加えられている。

表面的にはマイナーチェンジでも、実際は大きく違っていることもある。EISAボードには、測定のための共通の起点が指定されている。寸法を測定する際には、そこを起点としなければならない。EISAボードの起点は、カードの端でななく拡張コネクタの中心に設定されている。このため、許容誤差は最小となり、ボードはコネクタにぴったり収まるようになった。EISAボードは、以前のものより確実に装着することができるはずだ。

もう1つの変更点は、既存のPC拡張ボードに大きな影響を与える可能性がある。EISAは、現在あるボードについては物理的にすべてを受け入れるが、今後は、ボードにスカート(部品実装用のスペースとして、基盤の長辺部分の下側に出張った部分)のあるものは受け付けない(EISAは、拡張コネクタとカード装着ブラケットの間にある"ミニスカート"は認めている)。要するに、現在のコンピュータでもそうであるように、将来のEISAマシンでは、スロットにスカートのあるボードを装着できない場合があるわけだ。

■ EISA コネクタ

EISA 仕様の核心となるのは、拡張コネクタである。この設計によって、EISA 仕様の周辺機器の完全な32 ビット拡張を可能にしながら、PC バスカードとの互換性も保証している。EISA の拡張コネクタは、コネクタのサイズを大きくすることなく、90 個もの新しい端子を加え(うち55 個は新しい信号用)、EISA ボードも ISA バスのボードもどちらも受け付けるよう設計されている。

新旧のどちらのボードも装着できるこのすぐれたコネクタ設計は、EISAのオリジナルコンセプトに改良を加えたものである。1988年に初めて発表されたEISAコネクタは、2基のコネクタが平行に並んだもので、2基の一方は既存のボードと接続して互換性を保つためのもの、もう1つは拡

張ボードから拡張されたもので、32 ビットのデータ転送とアドレス指定用であった。しかしその設計は、ボードをコネクタに差し込む際にかなり強い力が必要であったことなど、様々な欠点が指摘された。実際、ボードの装着に相当な力が必要であるというコネクタの欠点のため、コンピュータの製造コストを節約する、ボード自動挿入機が使用できなくなってしまった。

最初に構想されたパラレルコネクタは、ボードの挿入に 100 ポンド以上の力が必要になるのに対し、新しい EISA コネクタは、従来の拡張コネクタと同じ大きさであるため、装着には同程度の力(35 ポンド)あればいい。したがって、これなら自動挿入機でも問題はない。

新しいコネクタは、水平にではなく下方向に端 子を伸ばすことによって、互換性と完全な32ビッ ト拡張を実現した。つまり、新しい EISA コネク タでは、拡張機能用の端子は、コネクタの底の方に 設けられている。EISA コネクタの内部にはプラ スチックのストッパが5つあり、既存のPC拡張 ボードは EISA スロットにはおよそ半分までしか 入らないようにして、PCバスボードがスロット内 の上側の PC 用端子にだけ接触するようになって いる。EISAボードには、ストッパにひっかからな いようなくぼみがあり、コネクタの底まで差し込 める。このストッパは、ISAバスカードが EISA の端子をショートさせて、EISA マシンにトラブ ル生じるのを防止しているのである。EISAカー ドを完全に差し込むと、上下の端子は EISA ボー ドの2列のパッドにしっかり接触する。

このように深く差し込む必要があるために、EISAボードのエッジコネクタは ISA バスボードのものよりも少し (約 0.2 インチ) 長くなっている。一方、16 ビットの AT 拡張スロットには、ストッパになるものが何もないため、EISA ボードを差し込めてしまうが、EISA ボードの端子は変わった配置になっているため、うっかり古い AT コネクタに差し込むと、信号が違った回路に送られる可能性がある。火花が出てびっくりさせられるようなことはなくても、ホストシステムの機能を損なわせる可能性は十分ある。寸法的には問題なくても、EISA ボードは EISA コンピュータ以外に

は装着してはならないのである。

■電力の制限

EISAはISAバスの拡張ボードと、消費電力量の点でも互換性を保つよう配慮されている。EISA仕様では、拡張スロットそれぞれで十分な量の電力を使用できるように想定されており、周辺機器の設計者は特殊な低電力部品を用いる必要がない。EISAでは各拡張スロットについて、4種類の電圧で45W以上の電力を使用できる。

もちろん、この量はシステムが供給する電力の 総量を楽観視したものである。電力を欲しがって いる拡張ボードを抱えた8つのスロット(EISAシ ステムで想定されている最大数)の要求を満たそう とすれば、325W以上の電力が必要になる。大容 量記憶装置やシステムボード自体の分を計算に入 れなくても、フルに拡張されたEISAコンピュー タに膨大な電力が必要になるのは間違いない。し かし、EISAの設計を見ると、拡張ボードはISA バスカード以上の電力は必要ないようで、恐らく は以前の電力レベルで十分であると思われる。

32ビット機能拡張

そもそも新しい規格を作りだそうとする動きは、16 ビット AT バスでは、もはや Intel の新しい 32 ビットマイクロプロセッサ (特に 386SDX と 486) には対応できないという事情から始まったものだった。このような最新チップの性能を活かす試みとして最初に行われたのは、最大のブロックデータ (特に 32 ビットダブルワード)を一度の動作で送ることであった。データパスが 32 ビットに広がれば、AT スタイルのコンピュータでは、おのずとデータ転送速度は 2 倍に高速化できる (ただし、ほかの条件が同じである場合)。しかし、EISA のやり方はまったく違う。新しく 16 本のデータラインを加えて、ISA バスをしのぐ性能を簡単に手に入れたのである。

■アドレス指定の拡張

AT バスにおいて、高性能なマイクロプロセッサの足かせになっていた部分はそれだけではない。 AT バスの24本のアドレスラインは、直接アドレ ス指定できるメモリ (EMS で使われているような バンクスイッチメモリではなく)の最大値を、16M バイトに制限していた。Intel の 32 ビットマイク ロプロセッサの 4G バイトというアドレスに対応 するため、EISA はアドレスバスを完全な 32 ビット対応へと拡張した。この新しいアドレス信号に は、頭に "LA" を付けた名前が与えられている。

EISA では8本のアドレスラインにとどまらず、低位のアドレスビットを示すラインも新たに加えられた。この変更はISA バスの機能の一部と重複するものであったが、重要な変更であった。EISA の低位のアドレスライン(LA2 から LA16 まで)はラッチされており、アクセス期間の最初だけでなく、アドレスサイクルの間ずっと安定した信号を出す。また、EISA のアドレス拡張(上位の8ビット)もラッチされる。

■バス幅信号

32 ビットのデータバスは、データ転送の際にかならずしも全部が必要なわけではない。たとえば、プログラムが 1 バイトだけのデータを、あるメモリから別のメモリへ移そうとする場合などがそうだ。こういう場合のために、EISA には、バス上のダブルワードデータのうち、どのバイトが有効になっているかを示すための新しい信号が用意されている。これらはバイトイネーブル信号と呼ばれ、BEO から BE3 まで 4 本ある。

以前のバスの拡張ボードとできるだけ互換性を保つため、EISA は8ビット、16ビット、32ビットのいずれかのインターフェイスを持つデバイスなら、どれでも使用できるように設計されている。しかしこのため、デバイスが32ビットデータを、別の16ビットのインターフェイスしか持たないデバイスに書き込んでしまうのを防ぐ手段が必要になる。

これに対し EISA は、デバイスが転送できるデータのサイズを示す、2本の信号を用意した。32 ビットの EISA バスにアクセスしたことを知らせるときは、デバイスは EX32 信号を送る。同様に、EX16 信号は、デバイスが16 ビット転送しかサポートしていないことを示す。どちらの信号も存在しなければ、システムは一度に8 ビットしか扱

えない特別なデバイスであることを前提に動作する (ISA バスにも同様の信号があるが、この場合は、転送が 8 ビット幅か 16 ビット幅かの選択を表わす)。

■データ幅の変換

EISAは、バス幅を知らせる信号が送られても、停止することはない。また、バス幅を自動的に変換する機能も持っており、たとえば、EISAカードの32ビット信号が、ISAバスの拡張ボードでも受け付けられるように、8ビットずつ4つの連続した信号に分割することもできる。特別な集積回路であるEISAバスコントローラが、データをしかるべきデータ経路へ移動させ、適切なバスの制御信号を送るのだ。

新しい転送モード

EISAは、ISAバスにデータとアドレスの容量を増やす信号を加えただけではない。別の新機能に関連する信号も、新たにバスの端子へ割り当てられている。追加されたのは、バーストモード転送をサポートする信号 (MBURST と SLBURST)、高速データ転送を補助するタイミング信号 (STARTと CMD)、ウェイトステートを挿入してバスの速度を落とす信号 (EXRDY)である。さらに、バスアービトレーションを行うために、スロットを指定する信号 (MREQxと MAKx)もあるが、これについては後に述べる。これとは別のスロット指定信号である AENx信号は、ISAバスの信号割り当てを定義しなおしたものである。この信号によって、拡張ボードはそれぞれ独自に応答できるようになり、個別のアドレス指定や制御が可能になる。

これらのスロット指定信号では、最大15個のスロットを識別できることになっている(信号名の"x"の部分には16進数の番号が入る)。しかしEISAの仕様では、システムが8本を超えるスロットを持つことは好ましくないと述べられている。

EISA 規格では、ISAバスのほかの信号も、すべて以前の定義と機能をそのまま保持しているため、古い拡張ボードとも互換性を保つことができる。しかし、そのために EISA の開発者が直面した試練は、古い拡張ボードにも対応しなければな

らないコネクタに、追加された信号をどう収めるかであった。

AT バスをより高速に動作させようとすると(より高いクロック周波数を与えようとすると)、互換性がやっかいな問題になってくる。バス内のデータ転送速度に同期しているクロックスピードを、何も考えずに上げるなどという方法は論外である。なぜなら、スピードを上げることによって、既存の拡張ボードに問題が生じるからである。多くの ISA バスボードは、バスの速度が AT の 8MHz や互換機の 10MHz を大幅に超えてしまうと、その速度に追従できなくなるのである。

■ バスクロック

互換性を確実なものにするため、EISA は拡張バスを動かす実際のクロックスピードは上げていない。仕様では、バスクロック (BCLK 信号) を、6~8.33MHz の間に固定するよう規定している。8.33MHz という数字は、今日一般的なマイクロプロセッサのクロックスピードである 33MHz の 4 分の 1 である。

バス速度は、システムのクロック周波数の約数である。それは EISA が、名目上は同期バスであり、ホストマイクロプロセッサに同期して動作するからである。ただし、これは必ずしも決まったことではない。より高速なデータスループットを実現するために、バスマスタが制御を引き受け、システムタイミングの一部を変更することができるのである。

バス速度の制限は、MHz単位で表わすクロックの違いよりも厳密なため、このようなタイミングの変更は不可欠である。ISAバスの実際のデータ転送速度は、一度の転送で2サイクルを要するという制約のため、遅く抑えられている。ISAバスは1バイト転送するごとに、階層を成した複雑なバスコマンドを実行しなければならない。EISAもこの転送モードをサポートしてはいるが、それとは別に高速化を図る独自のモードを2種類追加している。圧縮転送とバーストモードである。圧縮転送は、データを1.5サイクルで転送するため、結果として速度を50パーセント上げることができる。バーストモードは1サイクルで転送するた

め、毎秒 33M バイトという効率の良い速度を実現する(バス速度 8.33MHz、データパスが 32 ビットの場合)。

■圧縮サイクル

EISAの圧縮サイクル操作のポイントは、バスクロックの補助をする特殊なタイミング信号である CMD にある。圧縮転送が行われている間、CMD 信号はバスクロックの2倍の速度で動作し、その期間に合わせてデータ転送が要求される。

■バーストモード

バーストモードでは、データ転送のアドレスは、各クロックサイクルの最初(データを書き込む場合)または終わり(データを読み出す場合)に出力される。実際には、この動作は CMD 信号に同期しており、クロックサイクル開始の 0.5 サイクル後または 1.5 サイクル後にバスに出力される。

EISAのバーストモードには制限もあるが、利点もある。転送開始位置のアドレスだけが指定されるマイクロチャネルのストリーミングデータモードとは異なり、EISAのバーストモードでは、転送ごとにアドレスが与えられるため、不連続なデータも送ることができるのである。ただし、バーストサイクルの間は、下位10ビットのアドレスしか変更することができず、事実上、転送できるメモリのアドレスは、1,024ダブルワードのブロック内に制限されてしまう。さらに、EISAでは、読み出しと書き込みは信号のタイミングが異なるため、1バーストサイクル内に読み出しサイクルと書き込みサイクルを混在させることはできない。

かつては高速マシンであった PCの動作速度 33MHz と、データ転送最高速度の毎秒 33M バイトを混同してはならない。EISA バスもこれらのマシンのシステムメモリも、32 ビット幅ではあるが、EISA バスのバスクロックの最高速度は 8.33MHz のままであり、実質上はシステムボードメモリの速度の 4 分の 1 である。つまり、EISAマシンでも、古いマシン同様、スロットに組み込まれたメモリは、システムボードメモリよりも速度が遅い。高性能(実用的な用途すべてにおいて)を謳う EISA コンピュータには、システムクロッ

ク(バスクロックではなく)で動作する専用のメモリ用拡張スロットが、今後もしばらくは備えられるだろう。

DMA の問題

AT のバスで改良が必要な部分の1つに、ダイレクトメモリアクセス (DMA) のシステムがある。DMA コントローラは、本来ならシステムを高速化する能力を持っているのにもかかわらず、PC やAT ではその効果を示すことはできなかった。これらのシステムで DMA 転送を行うとうんざりするほど遅く、そのため AT ではハードディスクの転送での使用は諦めるしかなかった。

ATでDMA転送を実行すると、大抵は毎秒1M バイトという極端に遅い速度でしか行うことができなかった。3本の16ビットDMAチャネルが使われていたATでは、理論上は毎秒2Mバイトの速度が出せるはずだが、DOSが8ビット転送しかできないため、このような速度になっていたのである。

EISA が採用した新しい DMA のタイミングとテクニックは、EISA の設計の中でも最も独創的なものの1つである。EISA には、AT と互換性のある DMA 転送に加え、ほかに3つのタイプのDMA 転送が追加されている。タイプA、タイプB、タイプCと呼ばれるもので(タイプCはバースト DMA とも呼ばれる)、3つとも8ビット、16ビット、32ビット転送が可能である。さらに、違った場所に同じデータを送る複数同時転送も可能になった。EISA 規格では、バーストモードで32ビット転送を行う場合、最高毎秒33M バイトという速度の DMA 転送が実現できる。

EISAでも、デフォルトのDMAタイミングは、AT互換の8ビット転送という遅いモードに設定されている。EISA仕様には、ソフトウェアのドライバを使って、ISAバスの古いボードを蘇らせることのできるモードもある。専用のドライバがあれば、ISAバスの拡張ボードの多くがタイプA転送を利用でき、中には倍速のタイプBに対応できるようになるものもある。なお、EISAボードはタイプ C、もしくは、各タイプの32ビット転送しか利用できない。

いずれのタイプの DMA 転送でも、データ転送速度は AT 互換のものよりは速い。データパスが広くなったために、タイプ A の転送速度は、AT 互換の DMA 転送より、およそ 30 パーセント速く、タイプ B なら 2 倍の速度となる。タイプ C では 4 倍以上の高速化が実現する。

■ タイプ A 転送とタイプ B 転送

このような高速化のほとんどの部分は、DMA 転送に要するバスサイクルが少ない、独自のデータ転送プロトコルによる。AT の環境下では、一度の DMA の転送(8 ビットまたは 16 ビット)には 8 バスサイクルが必要であり、しかもその間ほとんど何も動きは発生しない。タイプ A 転送は、単に一度の DMA 転送ごとに無駄な 2 サイクルを削減したものであり、タイプ B はもっと極端に DMA 転送のサイクル数を削って、4 サイクルにした転送である。新しい拡張ボードは高速で動作できるため、多くの ISA バス用の拡張カードはこのような速度で動作できるのである。

■ タイプ C 転送

EISA 仕様では、タイプ Cの DMA 転送は、必要な信号処理をすべて圧縮して1バスサイクルですむように加工し、バスクロックの立ち上がりと立ち下がりの時点で、各信号が変化するようにしている。EISA の拡張カードだけがこの方法を利用できるが、転送にあたっては制限がある。この狭いタイミングの範囲内では、アドレスの最下位10ビットしか変更できないのである。したがって、EISAのバーストモードで DMA 転送を行うと、転送できるデータのアドレス範囲の大きさは、1,024 バイト以内の1ページだけに限定される。

■ DMA アドレス指定

転送モードの高速化に加え、EISA 仕様は DMA 転送が可能な範囲も広げた。ISA バスのシステム はアドレス指定の制限のため、メモリアドレスの 下位 16M バイト内でしか DMA 転送が行えなかっ たが、EISA では物理メモリ 4G バイトの範囲で ならどこでも DMA 転送を行うことができる。

DMA 転送中にデータが動く速度は、一度にど

れだけのデータを転送できるかによって決まる。 EISAのDMAチャネル7本は、それぞれ最高32ビットまでサポートしているが、優先順位だけ異なっている。EISAのシステムに負担がかかっているときは、数字の大きいチャネル(5番から7番)がより多くの処理を受けられる。

割り込みの制御と共用

ISA バスのシステムが長く生き残れなかった理由は、速度とデータ幅だけではない。拡張ボードを数枚差し込むだけで、システムの割り込みが役に立たなくなってしまうことも原因である。入出力チャネルに接続されていたほとんどのデバイス(ハードディスクからシリアルポート、ビデオコネクタまで)が、性能を最大に発揮するためには、少なくとも1つずつの割り込みを必要とする。

PCでは8個だった割り込みは、ATになってさらに7個追加されたが、それでも足りなかった。この流れに従って、EISAでも同じように新しい割り込みチャネルをシステムに加えていたかもしれない。しかし、その方法だと、割り込みを増やす分だけ複雑になり、コストも高くなってしまう。

そこで EISA では、周辺機器間で割り込みを共用するという、合理的な方法が採用されることになった。 EISA のシステムがどんなに拡張されても、割り込みを共用すれば、現行の 15 個の割り込みでどんな要求にも応じることができる。

ところが、実際には ISA バスとの互換性を維持することも、割り込みを共用することも、技術的にはほとんど悪夢のようなものだった。その主たる原因は、AT バスが採用していたエッジトリガ割り込みにある。もちろん、レベルセンス割り込みなら本質的にノイズの感知度は低く、信号が混同されることは少ない。しかし、PC の環境でレベルセンス割り込みを使うことには問題が多い。エッジトリガ割り込みを使用するソフトウェアで、レベルセンス割り込みのハードウェアを使うことには困難が伴う。

別の問題として、既存のエッジトリガボードとの互換性を保つこともある。特に、1つの割り込み制御線を2種類の割り込みで共用しようとすると、うまく機能しないことが懸念される。しかし、

以前のバスとの互換性を実現するには、それ以上 問題を増やさずに、2種類の割り込みを組み合わ せて使う方法を見出す必要があった。

EISAで試みられた方法は、それぞれの割り込みを個々に、エッジトリガかレベルセンスのいずれかにプログラムできるようにすることである。古いボードを使う場合は、必要に応じてエッジトリガ割り込みを使うことができ、その場合1つの割り込みに対してボードは1枚しか割り当てられない。一方、EISAの拡張ボードは、レベルセンスでプログラムされたほかの割り込みを共用することができる。

このシステムの唯一の障害は、レベルセンス割り込みは、エッジトリガ割り込みとは異なる種類のハードウェアを必要とすることである。この違いのために、エッジトリガ割り込みを使うように設計されたボードを差し込むと、レベルセンス割り込みを使うボードに邪魔されて、エッジトリガ割り込みが使えなくなってしまう。

また、この技術上の違いによって、搭載されるハードウェアが衝突によってダメージを受ける可能性もある。幸い、EISAの設計では、レベルセンス割り込みを使うボードの割り込みラインに、電流制限抵抗を入れるように指定することによって、この危険を最小限にとどめている。しかし EISAは、EISAの拡張ボードでしか割り込みの共用をサポートしていない。それ以前のバスの拡張カードは互いに、あるいは EISA カードと割り込みを共用することはできない。

バスマスタ

EISA がほかのバスから継承した機能のうちで 最も有効なのは、マイクロチャネルのバスマスタで ある。ただし、EISA のシステムでは、動作も各部 の名称も IBM のものとは異なっている。これはオ リジナリティを持つためだけではなく、IBM の設 計が、特許やほかの知的所有権で保護されている ためである。EISA のシステムでは、アービトレー ションを制御する部分は ISP (Integrated System Peripheral) チップと呼ばれている (不思議なことに EISA バスコントローラではない)。 ISP は、ちょ うどマイクロチャネルの中央アービトレーション 制御点と同じ役割を果たし、どのシステムが拡張バスの制御権を取るかを決定するものである。

■アービトレーションの優先順位

どのようなアービトレーションシステムにもルー ルがある。たとえば、近所の子供たちを面倒見な ければならない母親がいるとして、平和と静けさ を保とうとするなら、まず、いちばん騒々しい子 供に、規則を守らせようとするのではないだろう か。EISAにはもっと実用的で、決定的な優先順 位のルールがある。EISA では、メモリリフレッ シュ、DMA転送、マイクロプロセッサとバスマ スタという3つの段階を順々に制御権が巡ってい る。コントロールサイクルごとに、3つの要素が交 代で制御権を受け取っている。もし複数の DMA チャネルがバスの制御権を要求した場合でも、1 コントロールサイクルにつき、1つのDMAチャ ネルしか制御権を受け取れない。制御権は、まる で中華レストランの円卓のようである。アービト レーションサイクルが回るたびに、今回はA列の メモリリフレッシュ、次は B 列の DMA、そのま た次はC列のバスマスタとマイクロプロセッサ、 というようにシステムはどれか1つを選択するの である。

また、制御権は、EISAの6本のDMAチャネルの間でも、要求しているチャネルすべてに制御権が行き渡るまで巡回する。実際には、このローテーションは、ローテーションの中にもう1つのローテーションがあり、1回につき2サイクル回るという複雑なシステムになっている。優先順位の高い3本のDMAチャネル(ISAの16ビットチャネルに相当するが、EISA仕様ではどんな幅の転送も可能)の間にまず1つのローテーションがあって、優先順位の低い3本のDMAチャネルの間にもう1つ別のローテーションがある。そして、優先度の高い3本のチャネルの間を完全に順番が回ったら、今度は優先の低いほうチャネルのうちの1本が制御権を得る、という仕組みになっている。

マイクロプロセッサとバスマスタにも、また別の複雑なルールがある。マイクロプロセッサとバスマスタの列が選ばれるたびに、マイクロプロセッサとバスマスタのうち、直前のサイクルで選択さ

れていなかったほうが制御権を得る。つまり、マイクロプロセッサとバスマスタは、交互に制御権を得ていることになる。さらに、バスマスタの順番が回ってきたときには、今度はどのバスマスタが制御権を得るかを決めるサイクルもある。

メモリリフレッシュは、EISAシステムの中では一番優先順位が高く、どのアービトレーションサイクルにも、必ずメモリリフレッシュが含まれている。これは、メモリリフレッシュをしないと、システムがクラッシュしてしまう可能性があるためである。その次に優先順位が高いのがDMA転送で、アクティブなDMAチャネルのどれか1つが、1サイクルごとに制御権を得る。マイクロプロセッサがその次で、少なくとも1サイクルおきに制御権を得ている。バスマスタはマイクロプロセッサと同じか、それ以下の頻度で制御権を得る。たとえ複数のバスマスタがアクティブになっていても、それぞれに順番が回ってくるのは数サイクル先である。

■アービトレーション信号

このようなアービトレーションの複雑な過程に 比べ、これを行っているハードウェアは実に単純 である。各拡張ボードに必要なのは、2本のスロット指定信号だけで、制御の論理はすべて ISP チップの中に組み込まれてるため、拡張ボードの設計 者は複雑な意思決定回路の心配をする必要はない。

バスマスタボードがバスへのアクセスを要求するには、メモリ要求ライン (EISA の用語では略して MREQxと呼ばれる。 x''にはスロット番号が入る) で、その意志を伝えるだけでいい。あとは ISP が、バスマスタが装着されているスロットに対応したメモリアクノリッジ信号 (MAKx) で、バスマスタにバスの制御権が与えられたことを知らせてくれる。

EISA 規格には AT バス専用のバスマスタもある。この場合、カードはバスを制御するのに DMA 信号を使う。DMA 要求ライン (DRQ) がバスを使用したいという要求を伝え、承認されるとそれに対応した DMA アクノリッジリンクライン (DAK) からボードに応答の信号が返ってくる。

このような ISA バスマスタは、EISA タイミン

グ信号にはアクセスしないので、必要以上に長くバスを占有する可能性がある。その場合、ほかの転送に悪影響を与える恐れがある。その転送とは、制御権が与えられるわけではないが絶対に必要な機能、メモリリフレッシュである。このため EISA の設計では、これらのボードに、バスへのアクセス時間を制限するタイミング回路を組み込むことを要求している。

自動セットアップ

EISA の設計者がシステムの中に封じ込めた魔 法を、うまく働くようにするのには、"魔法の杖" が必要になるのでは、と思うかもしれない。しか し、実際に必要なのは、アドレス指定と割り込み への配慮くらいのもので、4種類のDMAのタイ プ、データ転送モードなどにまつわる呪文を唱え る必要はまったくない。この発明がなかったら、 ISAバス用の拡張ボードをセットアップする作業 は、フラストレーションのたまる大仕事となった だろう。なにしろ、ボードや既存の割り込みやホ ストシステムのメモリを、それぞれ必要に応じて、 DIP スイッチやジャンパスイッチで注意深く設定 しなければならないのである。どこか 1 箇所を間 違ったり(間違いは、マニュアルのできの悪さに 起因することがほとんどだが)、ホストシステム が立ち上がらないような場合、自分で問題の原因 を突き止めなければならない。しかし幸いなこと に、EISAは、このようなセットアップの問題を 解決する手段を備えている。

EISAは、システムリソースの割り当ての重複を、自動的に回避できるように設計されている。また、セットアップ用のソフトウェアが組み込まれており、自動的にシステムを構成している間に、割り当ての重複を発見し、警告し、さらに正しく直してくれるのである。このソフトウェアでも解決できない場合には、以前のようにスイッチとジャンパでボードの設定を行うこともできる。

EISAは、入出力ポートの重複も自動的に防ぐようになっている。ISAバスのマシンでは、拡張ボードは100hから3FFhの間で、必要に応じたポートが選べるようになっていた。そのため、ボード製造メーカーが選定した範囲の中からポートを

選ぶという作業も、ポートの重複を探してそれを 解決するという責任もユーザーに残されていた。

それとは対照的に、EISA は各スロットのポートに、それぞれ固有の I/O ポートアドレスの範囲を設定している。各ボード内で使えるポートアドレスは、16 進数の 3 桁に収まる範囲という制限については変わらないが、各スロットを識別するための 1 桁のポートアドレスを追加することで、そのスロットに装着されたボードで利用するポートと、ほかのボードで使うポートを区別できるようにしている。この方法なら、2 枚のボードが同じ I/O ポートアドレスを使ってしまうという事態は、物理的に回避できる。

また、各ボードは、すべてのボードで共通の場所に格納されている情報を検索するために、個別にアドレス指定することができる。各スロットのAENxバスラインを選んでアクティブにすれば、EISAのホストシステムがボードを個々に調査し、分離し、識別してくれる。

EISA 拡張ボードの各モデルには、それぞれ独自の EISA 製品識別子が割り当てられている。これはボードの I/O ポートアドレスの C80h から C83h に記憶されている。最初の 2 バイトには、圧縮した形で 3 文字の略号が納められており、これはボード製造メーカーを識別するものである ("ISA"という略号は、ISA バスの呼称を表わすものとして予約されている)。次の 1 バイトが 2 桁の製品番号で、最後の 1 バイトが 2 桁のバージョンナンバーとなっている。製造メーカーの略号は、EISA仕様を発布している組織である BCPR Service が決めている。製品番号およびバージョンナンバーは、各メーカーが独自に決める。システムボード自身も、似たような方式の識別番号を持っている。

スロットとカードを識別する仕組みのことを、 自動セットアップシステムという。標準化された セットアッププログラムを使えば、システムのリ ソースを自分なりに配置することもできるし、まっ たく自動でシステムをセットアップすることもで きる。

このシステムは、多様な構成要素をうまくまとめることができる。セットアップの情報は、AT クラスのマシンでも使っている CMOS 設定メモリ

の追加部分に保存される。バッテリでバックアップされる追加の CMOS メモリは、拡張スロットに装着されたボードの基本的なパラメータを記憶するのに割り当てられている。

この情報をメモリにロードするために、EISAシステムの製造メーカーは、ディスクまたは ROMに、セットアッププログラムを用意している。このプログラムは、設定ファイルによるセットアップが必要な製品に組み込まれている。設定ファイルは、ディスクベースのデータベースレコードで、EISA 仕様の標準フォーマットに従ったセットアップ情報を保存するものである。セットアップ用プログラムは、ディスク上のデータを読み込んでから自分をカスタマイズし、パーソナルコンピュータ本体にインストールされた製品のセットアップを行う。

製品の識別番号は、キーとして使われる。識別番号は CMOS メモリに記録されているが、システムの電源がオンになるたびに設定ファイルを探し、この番号と照合する。システムは、不揮発性メモリにボードのセットアップ情報を一括して記憶しておく。そうすれば、拡張機器のひとつひとつに、このようなメモリを組み込む無駄が省ける。

EISAマシンの間では、セットアップ用プログラムのインターフェイスまで標準化されているので、1台のEISAマシンをセットアップできれば、ほかのすべての機械の設定も、同じ方法で行える。初めてEISAマシンのセットアップを行う場合でも、セットアップの手順をマスターするのは簡単である。画面に表示されるメニューの中から、希望するものを選択するだけである。

EISA は特に独創的ということはないが、全体 としてよく考え抜かれた、完成度の高いシステム であるといえる。ISA バスに対しては、ほかにも 様々な機能拡張が開発されてきたが(IntelのOEM システムボードの32ビット拡張スロットなど)、 どれも業界から大きな支持は得られなかった。一 方、業界に影響力を持つ"9人のギャング"の後押 しで、EISA は自動的に支持を得た。EISA の弱点 は、初期のうちはコストがかかることで、発表か ら4年を経た現在でも、実質上普通のISA 技術よ りも多くの投資が必要になる。EISAに必要な追 加回路は、パーソナルコンピュータやマザーボー ドの小売りレベルの価格を1,000ドルも引き上げ てしまった。さらに、EISA の進んだ機能を生かせ るソフトウェアの数は、4年たってもなお少ない。 EISA は(マイクロチャネルのように)市場でのチャ ンスの糸口を失ったのである。そして、「ローカ ルバス」という、古いがすぐれたアイデアが EISA のすぐ後ろに迫っているのだ。

とはいえ、EISAが完敗したというわけではない。多くのEISAシステムがネットワークサーバで大きな威力を発揮してきたからこそ、目の高いユーザーは高価(あるいは価値ある)といわれる機能でも気前よくマシンに加えるのである。設計の効果は申し分ない(少なくとも技術的にはマイクロチャネルの標準には達していないが)。したがって、EISAを退ける理由は特に見当たらない。しかしながら、現行のソフトウェアでシステムを動かしている個人ユーザーにとっては、その負担に見合うような利点はない。

6.6 ローカルバス

1991年になると、拡張ボードの効率を高めようと、多くのパーソナルコンピュータや周辺機器メーカーは、数年前のローカルバスの概念に着目した。この概念は、元をたどれば最初の IBM PC (および XT) の拡張バスにまでさかのぼる。ローカルバ

スは、最高の効率、周辺機器とマイクロプロセッサのダイレクト接続、マイクロプロセッサと同じ速度、同じデータパス幅での周辺機器の動作、こういったものを実現させようというバスである。

表面的には過去の技術に逆戻りしたが、実際に

は、モニタ画面の更新をより速く行えるシステムができあがった。このことには何ら不思議は点はない。理論上ローカルバスは、EISAや ISA などの、486マイクロプロセッサを搭載した50MHzのコンピュータより、6ないし12倍の速度でデータを転送できるからである。バスの実スピードも6倍速く(ISAの8.33MHzに対して50MHz)バス幅も32ビットである。

しかし理論を比較してみると、初期のローカルバスには2つのものが不足していた。実際のスループットと標準規格である。

世に出た最初のローカルバス製品は、ディスプレイシステムのためだけに開発されたものだった。これにより、ビデオは、普通の I/O バスを使うよりも約30 パーセント速くなった。しかしその後、ほとんど改良がなされなかったのには多くの原因がある。その1つはビデオ固有の原因で、ディスプレイの性能を抑えていたのはバスだけではなく、解像度の高い画像によって、マイクロプロセッサのパワーや時間が奪われてしまうという問題である。また、ローカルバスを使うと、マイクロプロセッサは、バス転送のすべてのオーバーヘッドを引き受けなければならなくなるという問題もあった。

さらに、標準化も問題である。ローカルバスは拡張できる設計にはなっていないため、PC 時代に標準規格の制定が取りざたされることはなかった。むしろ、ローカルバスの接続は、マザーボードのビデオ信号を転送するためには便利で速い手段だった。コネクタがないため、互換の問題も標準の問題も起こりようがなかったのだ。しかし、ローカルバスの速度に注目し、高速なデータ転送が必要な装置同士を接続するには、これが理想的な方法になるだろうと考えたパーソナルコンピュータや問辺機器のメーカーは、マザーボードにローカルバスのコネクタを設置するようになった。その途端、互換性の問題が持ち上がったのである。

1992年になると、業界の標準規格となるような 3 種類の接続が現れた。チップメーカーの OPTi 社の提案を基にした OPTi バス、VESA (Video Electronics Standards Association) が打ち出した VESA ローカルバス (VL バス)、そして Intel が 開発した PCI (Peripheral Component Intercon

nect) である。

逆行する設計

前述のとおり、PCバスの大きな制約は、それがローカルバスであるということだった。たしかにローカルバスの概念は、それより進んだ拡張バスで具体化されたものとは対極に位置する。マイクロチャネルやEISAが、オーバーヘッドを軽減するためにマイクロプロセッサをバス制御の中心から外したのに対し、ローカルバスはマイクロプロセッサをバス制御の中心に引き戻すものである。マイクロチャネルとEISAが、バス転送を専用のバスコントローラにまかせるのに対し、真のローカルバスは、マイクロプロセッサにすべての制御をさせるのである。

この設計から分かることは、ローカルバスでシステム全体の性能を上げようとするなら、さらにパワフルなマイクロプロセッサが必要になるということである。一方、マイクロチャネルも EISAも、同じ性能のプロセッサを使った場合、入出力要求が重くなっても、システムの性能を上げることができる (バスマスタを利用する、適当なソフトウェアが必要)。オーバーヘッドは、バスコントローラや、実際にバスを使うバスマスタに移る。したがって、マイクロチャネルのシステムに搭載された 286 チップは、バスアービトレーション機能のないシステムの 286 より、はるかに速くマルチスレッドアプリケーションを実行できる。

最低限満足のいくような性能を、コンピュータに与えようとするメーカーなら、恐らくバスアービトレーション機能を採用するだろう。同じように、より高性能のマイクロプロセッサを開発しようとするチップメーカーなら、ローカルバスを擁護するにちがいない。

もちろん、物事はそれほど簡単ではない。白か 黒かといった議論に終始してしまえば、核心は見 失なわれてしまう。どのローカルバス規格も、文 字どおりのローカルバスとはいえない。たとえば、 いずれのローカルバスもさらに装置を増やそうと すれば、必要な電流を回路に供給するためのバッ ファが必要になる。また、バススロットを追加す る場合にも、十分な電流を供給し、スロットのト ラブルでマザーボード回路にダメージを与えない ように、バッファが必要になってくる。

実際のローカルバス規格は、その名が示す真のローカルバスとはほど遠いものである。たとえば、OPTiの設計は非同期動作を前提にしているし、VLバスと PCI はどちらともバスマスタとアービトレーション機能を備えている。

ローカルバス規格が名ばかりなのは、もちろん 周囲の状況がそうしてしまったからである。しかしその名にふさわしくない新機能が、ローカルバス復活の大きな力となることもたしかである。3つの標準規格はローカルバスの高速性を取り入れながらも、その欠点や、ほかの拡張バスが抱えているような欠点を排除している。さらに、この3種のローカルバスは、1つの標準へ向かって集まり、今後2、3年の間は、高速パーソナルコンピュータの最適な拡張手段として、ローカルバスが使用されていくと思われる。

速度の障害

ローカルバスを採用すれば、技術者は頭を悩ませることもなく、適度な速度で動作する電子回路を、たとえば GHz 単位の速さにでも設計することができる。しかし、これが拡張バスとなると、様々な技術的な問題で頭を抱えることになる。たとえば、干渉によって、高速なバスとほかの電子回路とのやりとりが、不安定で不確実なものになるという、電気的な問題がある。しかし、それに加えてエンジニアは、回路の中の電子だけでなく、ユーザーの要求にも応えなければならない。ときとして、ユーザーは、ベストを尽くした設計でも、そっぱを向いてしまうことがある――これは、マイクロチャネルが遺した教訓である。

電気的な制限

拡張バスには、ほかの回路よりも多くの技術的な問題が課されている。たくさんの相容れない要求のバランスを取らなければならないからである。まず、拡張バスは可能な限り高速な転送速度を実現しなければならない。さらに、拡張バスは周辺機器を接続するために、できるだけ多くのコネクタを備えなければならない。しかし、機器が密集

しないように機器の厚さを考えて、コネクタの間隔を空けなければならない。

速度が上がれば、信号の輻射も増える。また、 回路の長さが伸びても、そこを移動する信号の輻射も増える。一方、輻射を最小限に抑える方法は、 速度を遅くすることと、バスを短くすることである。しかし、多くの周辺機器を高速な拡張バスに 接続したいと考えるなら、どちらの方法も採用することはできない。バスの信号をうまく配置すれば(たとえば、マイクロチャネルのように信号と 接地を交互に置く)、回路間の相互干渉を最小に 抑えることができるが、ISAボードと互換性を持 とうとすれば、信号を配置しなおすという方法で 解決することはできない。まさに、EISAがそう であった。

互換性の問題

新しいローカルバスでは、昔からの壁を打ち破るために、互換性に関しては独自の考え方を持っている。EISAが互換性を拡張スロットレベルで実現したことは、業界の関心を引き付けた。EISAの解決法は、古い拡張ボードを動作させる最良の方法は、とにかくどこでもよいから、パーソナルコンピュータの空きスロットにぶち込むというものだった。

投資を無駄にしないように ISA ボードを利用する場合、何もすべてのスロットに差し込めるようにする必要はない。バスの設計を新しく前進させる理由の1つは、新しいボードの性能を生かすことである。しかし、古いボードの速度制限が、ISAのようなバスによるものではなく、ほかの要因によるものである場合には、その古いボードも残しておきたいと思うであろう。たとえば、拡張バスの能力を超えるようなスピードを要求するモデムはない。なぜなら、変調機構とデータ圧縮の機能を持つ最高速のモデムでさえ、毎秒 38,400 ビット程度の速度でしかデータを転送しないからである。つまり、古いボードも差し込める大きさのスロットが、適当な数だけあればよいのだ。すべてのスロットが下位互換性を持つ必要はない。

これこそが、すべてのローカルバス規格がとったアプローチである。EISA が要求したスロットレ

ベルの互換性ではなく、ローカルバスはシステム レベルの互換性を提供しているのだ。旧式のボードを使いたい場合は、システム内に1つ以上備わっ ている下位互換性のあるスロット差し込めばよい。 それ以外のスロットでは、ローカルバスの高速性 を享受できる。

したがって、ローカルバスマシンは、複数の拡張バスを備える必要がある。実際、ローカルバスのパーソナルコンピュータは、すべて3つのバスを装備している。従来の拡張バスとの互換用(ISA、EISAのどちらか、あるいはマイクロチャネル)と、高速ローカルバス用、そしてメモリ用である。ローカルバスは、古いバスを置き換えるのではなく、高速な拡張機能を与えることによって、それらを補っている。したがって、何も犠牲にすることなく、新旧それぞれのすぐれた機能を利用できるのである。

スロットの制限

しかしこのために、ローカルバスでは、装置の 追加が問題になってくる。もし、パーソナルコン ピュータをそこそこの程度に拡張しようとすれば、 装置の追加が必要であるが、ローカルバス規格は いずれも、バスに接続できる高速デバイスの数を、 3 台までに制限している。

注意すべき点は、制限がスロットの数そのものではなく、デバイスに設けられたことだ。ローカルバスシステムの多くが、マザーボードベースのディスプレイシステムにはバスの接続を使っている。するとローカルバスは、ディスプレイシステムを装置の1つとしてみなす。つまり、ローカルバスパーソナルコンピュータでマザーボードにビデオ回路がある場合は、ローカルバス用拡張スロットを2つまでしか備えられないことになる。

デバイスは3台までという制限は、速度に配慮した結果である。バスが大きくなればなるほど、相互干渉の発生する距離が伸びるため、回路間の負荷容量も大きくなる。また、コネクタ自身もさらに負荷容量を増す。速度が増すにつれ、回路の負荷容量は信号を徐々に減衰させていく。負荷容量による損失を防ぐには、信号を強くしなければならない。ローカルバスの信号を適当なレベルに

保ちつつも高速を維持するには、デバイスを3台 に制限する必要があるわけだ。

ローカルバスの擁護派は、デバイスの制限は実用には何ら支障はないと言う。パーソナルコンピュータには、ローカルバスが3つのデバイス、すなわち、ビデオシステム、大容量記憶システム、ネットワーク接続で使う、3つの高性能スロットがあれば十分というのである。

高速 SCSI ホストアダプタは、大容量システムのために割り当てられた1つのバススロットに、複数のハードディスクやディスクアレイやほかのデバイスをつなぐことを可能にする。もし、3スロットのローカルバスシステムよりもさらに高速な拡張を望むのであれば、普通のパーソナルコンピュータ以上のコンピュータを手に入れるしかない。

設計上の利点

ローカルバスのテクノロジーは古く、その必要性が最初に認識されたのは 1987 年にまでさかのぼる。そのわずか 4、5 年後に、新しいローカルバスの設計がなされたことは、奇妙に見えるかもしれないが、これは、ほかの先進的なバスが失敗したため、高性能を確実に約束してくれる高速バスが早急に必要になったためである。マイクロチャネルと EISA は、転送速度をいくらか上げることには成功したが、マシンの総体的なオペレーションには、特に劇的な違いは見られなかった。たとえば、マイクロチャネルや EISA マシンはバスマスタという大きな利点を備えていたのに、結局それを生かすことはできず、生かせたとしても画面上に何らかの変化が現れるようなものではなかった。

一方、ローカルバスなら違いを簡単に目で確かめられる。こういった表面に現れるような改良は、マーケティングにおいては最大の強みとなる。ローカルバスを使うと、パーソナルコンピュータは今までより速く動いて見えるのである。実際、表示速度に拘束されるようなタスク(たとえば CAD やWindows のアプリケーション)なら、ローカルバスはパーソナルコンピュータの全体的な動作を、いっそう速めることができるのである。

そのため、当然といえば当然だが、ローカルバス規格を最も強力に推進している組織は、ビデオ

システムの関連企業が集まった委員会「VESA」である。つけ加えると、ローカルバスはもともと拡張バスとしてではなく、パーソナルコンピュータに高速のビデオを提供する手段として採用されたものである。

現在のローカルバスが現れる以前は、パーソナルコンピュータはすべて、標準的な I/O バスを介してモニタを接続していた。電気的には、マザーボードの内蔵ビデオ回路も I/O バスを使って接続していた。しかし、I/O バスを介した接続は、高解像度モニタとグラフィカルな操作環境が浸透するにつれて、次第に疑わしいものになっていった。

初期のパーソナルコンピュータでは、ほとんどのアプリケーションはキャラクタマップ画面で表示されていたため、I/Oバスでも特に問題にはならなかった。画面全体に情報を表示しても、1文字あたり2バイト(ASCIIコードで1バイト、色もしくは強調を指定する属性バイトで1バイトの計2バイトの形でメモリに蓄えられた文字が、80桁×25行の文字列を構成するだけだった。画面全体にテキストデータを表示しても、4Kバイトにしかならない。オリジナルのPCバスを使用しても、伝送にはさして時間はかからない(実際の転送時間は、1バイト幅の4.77MHzのバスでも、500分の1秒以下であろう)。

グラフィックディスプレイの登場とともに、高速 転送の必要性は劇的に増大した。標準的な VGA の 16 色のグラフィック画面は、約 150K バイトのデータで構成される。解像度 1,024×768 の 24 ビットフルカラー表示になると、画面表示に要するデータは 2.3M バイトに増える。システムにほかのオーバーヘッドがないとしても、PC バスを使って 1 画面分のデータを転送するためには、まるまる 1 秒かかる。実際には、システムのマイクロプロセッサを経由するので、転送にはさらに相当な時間がかかる。プロセッサは、メモリリフレッシュや複雑なバックグランド処理(タイマ割り込みなど)、あるいは画面に表示する画像データの領域を計算することなどにも、時間を割かなければならないからである。

Compaq は 1987 年、「Deskpro 386」で、初めてビデオ回路を 16 ビットの ISA バスに接続させ、

潜在的な転送速度を 2 倍にした。また、コプロセッサとバスマスタという 2 つのテクニックを採用して、ビデオの性能を改善した。コプロセッサは、画面の画像データを計算するというマイクロプロセッサの仕事をかなり軽減しただけでなく、ビットイメージを動かす場合を除いて、拡張バスを介してデータのブロック転送の必要性もなくした。ほとんどの画面表示処理は、コプロセッサが実行するコード化された命令の形で送られるようになった。描画命令を使うことによって、バスを経由して転送される情報を、1,000 分の 1 に縮小できるようになった。

さらに、バスマスタにより、画像のデータを、システムのマイクロプロセッサの手を煩わすことなく転送できる。そのため、動作のオーバーヘッドがなくなり、転送速度は理論上の値にかなり近づいた。初めてバスマスタを使ったビデオシステムは、コプロセッサの技術も取り入れた IBM のXGA であった。

しかし、こういったアプローチには2つの弱点がある。1つは、デスクトップパブリッシングやマルチメディアアプリケーションの普及で、ますます一般的になってきたビットイメージの移動処理は、コプロセッサでは高速化できないことである。また、コプロセッサとXGAを使うには、これらを制御するための特別な操作が必要になるため、プログラムを書き直さなければならない。つまり、アプリケーションのほとんどは、そのままでは速さを生かすことはできないのである。

ローカルバスは、ビデオ接続のバス幅を広げ、速度もマイクロプロセッサの速度(33~66MHzが一般的)に近づけたことで、バスのボトルネックを打ち破った。広いバス幅と高速なクロックのおかげで、ローカルバスは理論上、4倍から8倍の高速化を実現した。

ローカルバスは、コプロセッサでは対応しきれないビデオ性能、つまり、ビットイメージの転送速度を高速化する。したがって、ローカルバスはビデオコプロセッサの技術に取って代わるものではなく、これをいっそう強化するものとみなすべきである。同様に、真のローカルバスの基本原理とは逆行するが、バスマスタはローカルバスの速

度をさらに速めることが可能である(実際、VLバスの設計には、特に XGA を利用するためにバスマスタが含まれている)。コプロセッサとバスマスタを備えたローカルバスは、今日あるビデオの速度をさらに大きく飛躍させるだろう。

ローカルバスの規格

製品として出回っているローカルバスは、専用のものか、あるいは後に掲げる3つの標準のうちのいずれかである。しかし、今後しばらくの間の製品は、業界の標準として支持を得ている「VLバス」に従うことになるだろう。各設計にはそれぞれ長所と短所があり、もちろん専用のシステムにも利点はある。

■専用設計

一番初期のローカルバスの製品は、専用ローカルバス設計のシステムを採用したもので、一般的にはマザーボードに組み込まれた専用ビデオ回路として搭載されていた。初期の専用設計を用いた製品の中にも、ビデオシステムを拡張ボードとして内蔵し、専用バスへ接続していたものもわずかながらあったが、そういった製品は、専用設計に足を引っ張られる結果となった。拡張オプションの選択の幅が、そのメーカーが供給するものに限られてしまったのである。ローカルバスのスロットがあっても、この専用バス設計によって、そのパーソナルコンピュータのメーカーが提供するわずかな種類の拡張ボードしか使えない。

しかし、ディスプレイの性能だけを追求するなら、専用のローカルバスでも十分にその目的は達せられるし、すぐに満足できるだろう。高速ローカルバス拡張を利用できなくても、コストの問題が解決され、パーソナルコンピュータ業界でローカルバスが当たり前になるまでは、すぐれたディスプレイの性能を味わうことができるだろう。

■ OPTi バス

チップセットメーカーの OPTi は、「DXBB PC/AT チップセット」(同社の「82C496」システム/データコントローラと「82C206」統合ペリフェ

ラルコントローラを組み合わせたもので、オプションとして「82C497」キャッシュコントローラを搭載できる)の付随技術として、ローカルバスを開発した。このチップセットのデータブックには、EISAコネクタに基づいて提案したローカルバスコネクタの仕様が記載されている(OPTiコネクタ内部にはストッパがあるため、OPTiスロットに標準のEISAボードを差し込むことはできない)。しかし同社は、この仕様の互換性を保証する努力を怠ったため、製造メーカーの中には別のコネクタを採用するところもあった(たとえば Hauppauge Computer Works は、OPTiの信号にマイクロチャネルコネクタを使用している)。

OPTiのチップセットは、ローカルバス本来の接続方法は完全に制御できるが、アービトレーションやバスマスタといった機能は備えていない。そのため、OPTi設計に準拠して拡張ボードを作ったほうが、標準のISAボードを作るよりもコストはかからない。また、必要な信号はすべてチップセットに備わっているので、マザーボードの設計はISAのものとほとんど変わらない。

82C497 キャッシュコントローラによって、ローカルバスはマイクロプロセッサやマザーボードのほかの回路とは同期せずに動作できる。このおかげで、マイクロプロセッサのシステムボードクロックを変更せずに、より高速なシステムにアップグレードできるパーソナルコンピュータを作ることができる。その資料の中で OPTi は、ローカルバスは 33MHz で操作させるべきであるとしているが、いくつかのメーカーはすでに、50MHz 用のOPTi バス勧告に基づく周辺装置を設計している。

OPTiの設計は、通常の拡張スロットのコネクタに代わる、特別なローカルバスコネクタを想定している。この設計の場合、1~3本のローカルバススロットは、ローカルバスボードの専用スロットになる。

OPTi コネクタは、アドレスラインとデータラインのほかには、ほとんど信号ラインを備えておらず、割り込みや DMA やほかの制御機能は、すべてホストバスのものを利用する。そのため、複雑なセットアップ機能は必要ない。

■ VL バス

VESA (Video Electronics Standards Association) が開発した VESA ローカルバス (VL バス)は、アービトレーション機能を備えた高速な拡張バスで、最高 66MHz で動作する 32 ビットバスである。アービトレーション機能を備えているため、マイクロチャネルや EISA に似た制御回路を必要とするが、それゆえに、これらと同じような利点がある。マイクロプロセッサの干渉なしで、バスマスタ転送ができるのである。

VLバスの定義は、互換性のあるさまざまな構成を選べるようになっている。16 ビットと32 ビットの2つの転送モード(タイプ A、タイプ B)により、ホストの速度を変えることができる。タイプ A の転送は、通常33MHz以下で動作するマイクロプロセッサで使用され、タイプ B は、40MHzから66MHzのマイクロプロセッサで使用される。そのおもな違いは、課される待ち時間である。一般にタイプ A は 0 ウェイトで書き込み操作を完了し、1 ウェイトで読み出しを行うことができる。一方、タイプ B での転送には3 ウェイト必要である。

Pentium (586) マイクロプロセッサでの使用も想定しており、将来的には 64 ビット幅への拡張が予想されている。VLバスに装着されている拡張ボードは、電源投入時の自己診断の間に、コード化された ID2、ID3、ID4 信号を使ってホストに動作可能な速度の最高値を示す。ローカルバスのデバイスは、ID0 と ID1 信号のコードから、どんな種類のマイクロプロセッサがホストコンピュータを制御しているのかを調べる。また、データ転送の幅を規定するために、バイトイネーブルバス信号 (BE0 から BE3) がある。

VLバス用の標準コネクタは、0.05 インチ間隔で112個の端子を持つマイクロチャネルコネクタである。仕様では、VLバスのコネクタは、ISA、EISA、MCAなどの通常のスロットと一直線上で、0.5 インチ前方向に離れた位置にあることを前提としている。したがって、VLバスのスロットは、ローカルバスボードにも標準の拡張ボードにも使用することができる。VLバスボードが、ホストの通常のバスと接続するかしないかは、ボード設計者の選択にまかされている。ホストのI/Oバ

スは割り込みの制御に使用されるのが一般的であるが、割り込み9への接続はVLバスコネクタを介して行われる。

VLバスは、バーストモードでのバスマスタ転送を可能にすることにより、転送のオーバーヘッドでホストのマイクロプロセッサに負担がかかるというハンデをなくしている。バスマスタを利用しているボードはすべて、VLバス仕様のマスタとして動作できなければならない。VLバスには「スレーブ」はないのだ。操作上は、バスマスタ転送の際には、1つのボードがマスタを務め、もう一方は「ターゲット」を務めることになる。

VLバスの問題点は、規格が正式に合意されたのは1992年6月のことで、その日以前にも多くのローカルバスコンピュータが設計され、世に出ていることである。当然、これらの第一世代のローカルバスコンピュータのほとんどは、VLバスの規格には準拠していない。

PCI

PCI (Periferal Compornent Interconnect) バスは、もともと Intel により長期的視野に立って設計され、策定された、ペリフェラルバスである。現在では Intel を中心とした SIG (Special Interest Group) のメンバーにより標準化/普及化の作業が行われている。Revision1.0 は 1992 年 6 月に発表されたが、そのときは内部バスの正確が強く、コネクタ等の仕様も未定であった。その後 Revision2.0 が 1993 年 4 月に規定されて、ローカルバスの一つとして VL バスと並んで普及が促進されつつある状態である。もともと、VL バスがグラフィックスのスピード向上を目指して生まれたのに対し、PCI バスはプロセッサを含む周辺機器を、高速にアクセス可能にするためのペリフェラルバスとして生まれた。

VLバス規格が、チップセットのエンジニアにより、当面の解決策として生まれたのに対して、PCIバスは、インテルのアーキテクトグループにより、長期的な使用に十分耐えられるように規格化された、VLバスよりも比較的仕様の重いバスである。VLバスとの互換性はないが、同様の機能を備え、さらに強化されたバスマスタやアービ

トレーション機能を有する。

Intel により規格化されたものの、PCI バスはプロセッサを特定していないため、x86 以外の CPU との接続も可能である。通常は、CPU と PCI バスの間にはブリッジ回路が入るため、CPU を特定する必要がない。このため、多くのコンピュータメーカからの賛同を得られている。DEC や Appleでは、RISC チップそのものに PCI インターフェイスを取り込むことや、RISC システムに採用することを表明している。

PCI は、多重化された 32 ビットバスで、最速時には 1 クロック 1 転送のタイミングになる (64 ビット転送もすでに定義されている)。したがって 32MHz のバスクロックで、132M バイト/秒を実現している。これは一見、VL バスの転送スペックである 264M バイト/秒 (66MHz の場合) よりも遅く見えるが、VL バスでの実際のインプリメンテーションは、33MHz が事実上の最高スピードであり、遜色はない。また PCI バスは、CPUーメモリ間の転送と、PCI バスデバイスの転送を並列に行うことが可能なため、事実上 VL バスよりも優れていることになる。

さらに信号を多重化したおかげで、有効信号本数は47本ですんでいる。信号線が少ないことによって、ボード上の面積も減少でき、チップでインターフェイスを実現する際もチップのピン数が減るので、コスト削減に寄与できる。

また PCI バスにはターミネータがなく、信号の 伝送に進行波と反射波の双方を利用して行われる。 すなわち、合成波により信号の伝達が行われる。 この手法により、弱いドライブ能力でも信号が伝達でき、消費電力も減らすことが可能になっている。不要輻射の対策としても有効である。ただこのため、反射波の影響までを考慮してボードの設計をする必要がある。

PCIバスは、スペック上では明らかに VLバスに勝っているものの、CPUに依存しないぶん、CPUと PCIの間にはブリッジ回路を必要とし、これが VLバスに対して普及が遅れている理由の1つとなっている。 VLバスは「486バス」とも呼ばれているように、信号の本数は多いものの、486バスに対してインプリメントすることは比較的容易であるのに対し、PCIバス用のブリッジ回路は、これを CPUに取り込まないかぎり、構成するチップの数の点でも VLバスに対して不利な状況にある。

PCIバスはその仕様の重さにより、実装するためにはコストアップが避けられないと考えられた。そのため、最初はデスクトップ用と認識されており、ハイエンドのデスクトップマシンから導入されていくと思われているが、この認識も次第に変わっていくことになるだろう。CPUに直接このインターフェイスを取り込むことにより、少々様子が変わることが予想され、ノートブックなどにもPCIバスが採用される可能性がある。すでにTIからはPCIバスのインターフェイスを取り込んだx86の製品がアナウンスされており、その行方が気になるところである。

6.7 PCカード

ラップトップパソコンやノートパソコンは、拡張のオプションがないことが欠点として挙げられるが、これはハードウェアが標準の拡張ボードを装着するにはあまりに小さいというだけのことであり、バスについては何の問題もない。さらに、一般的なデスクトップコンピュータの拡張ボードの消費電力は5Wに近いが、これはノートパソコ

ンの機能のすべてが必要とする量にほぼ等しい。 一方これに対して、小型の携帯用パーソナルコン ピュータの間にも、機能拡張の標準が誕生しつつ ある。PC カードである。

PC カードは、RAM の容量を拡大するために、 ラップトップパソコンやノートパソコンに差し込 まれていたメモリカードから派生したものである。 しかし、PCカードの仕様は、メモリのほかに、モデム、ハードディスク、ネットワークアダプタなど、フルサイズのパーソナルコンピュータの拡張スロットに差し込まれるようなものであれば、何にでも対応できるように設計されている。

PC カードの標準規格は、1989 年に設立された 米国 IC カード推進協会 (PCMCIA) という、220 社 を超えるメンバーによる国際委員会によって制定 されている。差し込み式の拡張メモリカード (1985 年に今日の形式で最初に紹介された) を使う利点が 次第に明らかになる一方、その設計の多様さがもは や容認できないところへきて、標準が設定されるこ とになったのである。最初の PC カード (Release 1.0) は 1990 年 9 月に発表された。

寸法

PC カードの出発点は、IC カードにならった 68 ピンソケットを備えたものであった。ICカード は、最初に日本電子工業開発協会 (JEIDA) が定 めたものである。PC カードの初期バージョン(現 在は Type I と呼ばれる) は、サイズとコネクタ はICカードと同じであったが、標準規格が設定 されたことが重要である。PC カードは、大きさ 2.126×3.37 インチ、厚さが 3.3mm であった。よ り厚い部品を使用できるようにするために、Type II が 1991 年 9 月に「Release 2.0」として発表され た。Type II の PC カードは、厚さ 5.0mm と厚く なっただけで、ほかは Type I と同じ寸法である。 より厚くなったことで、セラミックパッケージに 入った EEPROM チップを、内部に組み入れるこ とが可能になった。さらに進んだ規格である Type III は、厚さ 10.5mm となっている。3 種類すべて のカードは、そのガイドレールに沿った部分は3.3 ミリと同じ厚さなので、薄いカードも新しい厚い スロットで使える。Release 2.0 では、Type I と Type II のどちらのカードも、拡張した形状の中 に搭載可能である。このように、PCカードは拡 張が可能なのである。

電気的接続

PC カードはすべて、同じ 68 ピンコネクタを使 用する。8 ビットないし 16 ビットのデータバスを 持ち、カードの最大 64M バイトのメモリをアドレス指定できるパーソナルコンピュータと接続することができる。動作に必要な電力は 5V または3.3V である。

PCカードは、メモリだけでなく、フルサイズコンピュータの拡張バスと同様、コントロール信号と割り込み信号を持つ入出力インターフェイスの標準規格も定義している。また、PCMCIAは将来のPCカードのために、32ビットのバスマスタ標準にも取り組んでいる。

機能

PC カード規格は、PC カードの ROM もしくは フラッシュRAM に含まれているプログラムコー ドを、あらかじめ RAM に複写することなく実行 する直接実行と呼ばれる機能に対応している。PC カード用のデバイスドライバを、ソケットサービ スと呼ばれる共通の標準に沿って書けるように、 共通の BIOS インターフェイスが定義されている。 また、仕様にはタプルと呼ばれるソフトウェアの ヘッダが定義されており、これによって PC カー ドスロットに装着されているカードのタイプ(電 気的特性と論理的性能)を識別することができる。 タプルをチェックすれば、たとえば、PCカードの 中にフォーマットしてはいけないハードディスク が含まれている、といったようなことが、パーソ ナルコンピュータ側から何度も警告されなくても わかるわけだ。

PCカードは、電源を入れた状態でも差し込むことができるように設計されている (hot insertion) 点で、古いメモリボードとは異なっている。ノートパソコンやラップトップパソコンへのメモリボードの取り付けは、通常は電源を切って行なわれていた。これに対し PCカードは、拡張ボードというより、ゲーム機のカートリッジのようなもので、電源を入れたままで装着できる。したがって、ハードディスクは取り外しが可能になり、ホストをリブートしなくても、1つのスロットを様々な用途に使用することができる。また、周辺機器だけでなく、プログラムも PCカードに組み込むことができ、このようなプログラムカードは、初期設定やテンプレートやデータを記憶するための自分専

用の不揮発性メモリを備えることもできる。

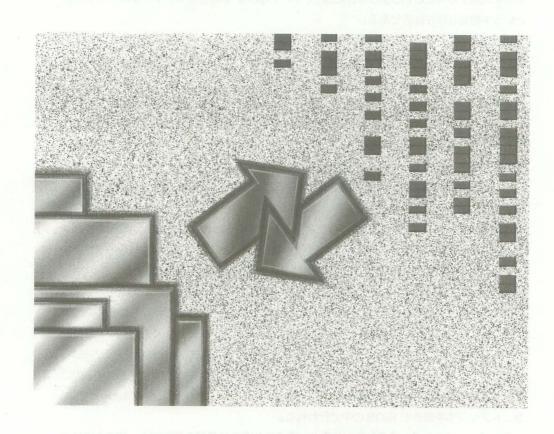
PC カードシステムは、カード内に実装されているのが、ディスクドライブなのか、RAM、ROM、フラッシュメモリなのかどうかに関わらず、フロッピーディスク用の FAT システムを利用できるように設計されている。このため、ソフトウェア開発者にとって PC カードで動作するコードをつくるのは比較的容易である。

注目すべき点は、PC カードの設計は、ISA (PC

カードの基になった)、EISA、マイクロチャネルを含むほかのバス規格とも共存できる。これはつまり、PC カードはパーソナルコンピュータの機能を向上させるために、ポータブルマシンだけでなく、フルサイズのパーソナルコンピュータでも使用できるということである。デスクトップパソコンが PC カードスロットさえ備えていれば、1枚のカードで何でもできるのだ。

第一章

BIOS



すべてのパーソナルコンピュータは、みずからの個性を BIOS (Basic Input/Output System) と呼ばれる、内蔵されたソフトウェアルーチンのセットから与えられている。多くの場合、BIOS は 32K バイト以下のコードから成っているが、このように少ない容量ながらも、パーソナルコンピュータの最も重要な機能、たとえば、キー入力の認識の仕組み、キャラクタをスクリーンに表示する仕組み、ポートを介して行う通信の仕組みなどを制御している。また、BIOS によってコンピュータの互換性や使用上の適応性も決まる。ただし、すべての BIOS はその果たす機能は同じでも、まったく同じものというわけではない。

ちょうど、人獣混血のミノタウロスが底知れない迷宮を支配していたように、パーソナルコンピュータが内に秘める神秘性と迷路は、BIOS というソフトウェアと、ハードウェアとの奇妙な交配によって司どられている。

しかし、BIOSの役割は、単に迷宮の番人というだけではない。BIOSは、パーソナルコンピュータとその回路から成るハードウェアという物質世界を、超自然的な領域であるソフトウェアの観念と命令に結び付ける、半神半人としての役割も持っている。つまり BIOS は、両者を連結する存在というよりは、むしろ、ハードウェアでありかつソフトウェアでもあるという中間的な存在なのである。

BIOS は、マイクロプロセッサが実行するインストラクションの列である点では、ソフトウェアと同じだが、ソフトウェアのように、一時的に存在した後は消えてしまうものではなく、PROM チップのシリコンというハードウェアの中にコード化され、パーソナルコンピュータの中につねに存在している、特殊なインストラクションである。BIOS のようなプログラムは、ハードウェアとソフトウェアのどちらともいえない状態で、これら2つの間に挟まれるもうひとつの世界に存在している。このため、このような PROM ベースのプログラムは、しばしばファームウェアと呼ばれている。

IBM やその互換機の BIOS は、特殊なファームウェアであり、コンピュータにテストを実施するルーチンと、コンピュータに独自の個性を与え、ほかのプログラムとシステムの電子回路の歯車が、よりスムースに噛み合うように手助けする。さらに、(これは IBM のコンピュータの場合のみだが) ほかのソフトウェアがなくても (あるいはディスクドライブさえなくても) コンピュータを使用可能にするプログラミング言語を備える場合もある。

コンピュータの個性は、ファームウェアのコードによって形成される。このコードによって、コンピュータを動作させるのに必要な基本機能の実行方法、つまり、いかに速くいかにスムースに、その機能を実行するかということが決められる。また、多くのパーソナルコンピュータにおいて、このファームウェアは、システムボードの構成部品の相互作用の方法や、使用するチップセットの機能、そして、マイクロプロセッサがメモリの内容を保持するのに割り当てる時間の総量さえも制御している。最近のパーソナルコンピュータのほとんどでは、セットアップの手続きも BIOS の中で行われる。

コンピュータのスイッチが入れられると、すぐに BIOS は処理を開始する。BIOS の最初の仕事は、ユーザーがデータのすべてをコンピュータに預けてしまう前に、一連の診断ルーチン (システム機能テスト) を実行して、パーソナルコンピュータのハードウェアの全部分が正しく機能していることを確認することである。BIOS は、システムボードとメモリ回路、

キーボード、ディスク、それぞれの拡張ボードを順にチェックしていき、問題を見つけるとモニタの画面にコード番号を表示して、使用者にそれを通知する。また、モニタにコード番号を表示する機能に問題がある場合は、コード化された一連のビープ音を発して警告を行う。

コンピュータがいったん動作し始めると、もはや BIOS の休む暇はない。画面やプリンタへキャラクタをタイプしたり、キーストロークを読んだり、時間を測るといったルーチンワークは、プログラムがこのファームウェアに含まれている何組ものルーチンを呼び出して実行する。この BIOS という基礎ライブラリがパーソナルコンピュータにあるおかげで、プログラマはシステムの細部を気にすることなく、総括的な設計を行うことができるのである。

BASIC は、プログラミング言語の中で最も共通性の低い標準であり、さらに IBM BIOS のカセット BASIC は、その BASIC 言語の中でもさらに共通性が低い標準である。このようにカセット BASIC の悪口を言うのは簡単だが、少しでも利用価値があるのならば、その言語は存在意義がある。カセット BASIC があれば、使用者がシステムディスクなしでブートアップしても、"Non-system disk or disk error"のようなメッセージと共に使用者に向かって「電子の舌」を突き出すようなことはせずに、計算問題に素早く回答したり、簡単なプログラムを走らせたりする。(ロードおよびセーブ用のディスク装置なしで、複雑なプログラムを試そうと思うユーザーは、まずいないことを考えれば)ほとんどの人に BASIC は必要ないし、わざわざこれを見てみたいと思う人もいないだろう。しかし、それでも万一の場合に備えて、BASIC はパーソナルコンピュータの中に存在しているのである。

BIOSのコードは、すべて1つのシリコンチップの中に含まれているが、いくつかに分れた各部分はそれぞれ個別に動作する。BIOSは小さな**常駐プログラム**のセットのように、常時メモリに存在し、ユーザーの指図どおりに動作する。ユーザーはこれを取り外すことはできないので、メモリから消えることはない。

7.1 BIOSの目的

いかなるコンピュータの設計でも、ハードウェア要素の多くは、I/Oポートの範囲内の特定のアドレスに位置している必要がある。コンピュータのほかの構成部品は、自分の制御に使われる専用のレジスタを持っている。どんなコンピュータでも、内部には独立した部品が複数存在しているため、考えられる組み合わせの数は無限である。ソフトウェアは、このハードウェアのいずれかを制御しようと思ったら、これらのレジスタを正しく選択しなければならない。この場合、すべてのコンピュータが完全に同じに作られているかぎり、つまり、同じハードウェアに対して、同じポートや同じレジスタが使われているのならば、問題はまったくないはずである。

しかしながら IBM は、最初の PC ではハードウェアを自由に変更できる余地を残しておいた。 PC と、その後に登場するマシンとが、同じポート

やレジスタを持っていることを保証しなかったの である。IBM が思い描いた秩序ある世界では、プ ログラムはハードウェアに直接アドレスする必要 はまったくなく、代わりに、BIOS の中に組み込ま れたソフトウェアルーチンを呼び出せばよい。新 しいコンピュータが違ったハードウェア構成になっ ていても、使用する BIOS ルーチンは古い BIOS ルーチンと同じように動作し、アプリケーション ソフトウェアが使用する場合でも、古いものとは 区別がつかないのである(ルーチン内部のアドレス は、新しいハードウェアに合わせて変更する必要 はあるが)。このように、BIOSの存在によって、 広範な種類のハードウェア設計でも、同一のソフ トウェアが走り、設計者とメーカーは、必要に応 じて、システムのハードウェア全体を自由にアッ プグレードできるのである。

7.2 BIOSの欠点

BIOS ルーチンに関する問題は、ルーチンの数が有限であるために(少なくとも妥当な数ではない)、すべての状況とソフトウェアの必要性を、最適な形でカバーできない可能性があるということである。BIOS ルーチンを使用すると、たしかに便利なことがある反面、多くの場合同時に問題も伴う。とくに問題なのは、BIOSを使うことによって、多くの機能の速度が低下してしまうことである。この性能の問題は、ビデオのディスプレイで最も顕著に現われる。たとえば、IBMのBIOSルーチンはすべて、ビデオディスプレイに情報を表示する場合、一度に1個ずつキャラクタを表示するように設計されている。これに対し、ハードウェアを直接操作すれば、テキストを一気に転送して、もっと高速に表示することができる。

BIOS ルーチンの使用には、かなりの手間がか

かる。キャラクタの属性(色、アンダーラインなど)を画面に表示するにあたって、ソフトウェアはまず最初に、表示させたいキャラクタと、場合によってはその画面上の位置までを特定のレジスタにロードし、つぎに、BIOSに制御権を与えるために、ソフトウェア割り込みを発行しなければならない。制御権を与えられたBIOSは、十数個のアセンブリ言語のインストラクションを実行して、画面上へキャラクタを移動させるのだ。

一方、BIOSを無視して、直接コントロールを行う場合は、ビデオカードのディスプレイメモリに直接に書き込みを行う。アセンブリ言語のワンステップで、適切なアドレスをロードし、必要なバイト値をそのアドレスに移動するだけで、プログラムは画面に直接に書き込みができる。このように、ひとつひとつのキャラクタを書き込む際に、

数十のステップが節約されることによって、実際の性能が向上し、見た目にも、ゆっくりスクロールダウンしていた画面が瞬時に更新されるようになる。

これ以外にも、BIOSがシステムの全動作を取り扱うことによって、BIOSがサポートしていないことは何もできないという制約が、コンピュータに課されてしまう。たとえば、標準モードの動作の場合は、BIOSルーチンが適切に機能し、これによってディスクの読み書きや、IBMの標準ディスクフォーマットを使ったフォーマットが可能になっているが、同時に、ドライブが行うことがで

きる範囲が制限される。BIOSによって制御されているために、ドライブはIBMから正式に認められた製品と同じようにしか機能できない。しかし、実際のディスクドライブは、BIOSが規定している以上に多目的なもので、本来ならば、ほかのコンピュータシステムに使用されるディスクフォーマットや、ディスクをコピープロテクトするために使用される、特殊なフォーマットも読み書きできる。ディスクドライブの能力を、IBMによって公式に認可された能力を超えて利用するには、これに制限を課しているBIOSを回避しなければならない。

7.3 ハードウェアの直接制御

ハードウェアに直接にアドレスするプログラム を使って BIOS を迂回するのは、それが IBM の 希望によって禁じられているとはいえ、別段難し いことではない。実際には、かなり多くのソフト ウェアの設計者が、勝手にハードウェアの直接制 御を行ってきたため、パーソナルコンピュータの ハードウェア機能の多くは、BIOSよりもずっと 厳密に標準化されている。この最も顕著な例が、 ディスプレイメモリの配置である。ディスプレイ メモリへの直接の書き込みが、こういう形で一般 的になったため、IBM は自らの敗北を認め、ディ スプレイメモリに使用されるアドレスについては、 最大限の努力を払って現状を維持するつもりであ ると言明するにいたった。シリアルポートもまた、 BIOSの制御を超えて発達してきたもののひとつ である。9,600bps (機種によっては19,200bps) 以 上の速度でシリアルポートを使うプログラムは、い ずれも BIOS のシリアルコミュニケーションルー チンを使用してはならない。

さらに、PCのハードウェアの規格は、BIOSが

設定する以上に厳密な規格だといえる。ほとんどの互換機は、PCのハードウェアを正確に模倣しているが、その互換機に使用するBIOSは、著作権の問題からオリジナルとは違っていなければならない。実際にハードウェアは、BIOSのファームウェアよりも(多くの点で)規格化されている。ビデオディスプレイが使用するハードウェアのメモリロケーションを、できる限りサポートすることを是認した時点で、BIOSのみで行うには制約が存在するという問題点を、IBM自身が事実上認めたのである。

とはいえ、プログラマにとって BIOS の使用には利点があるのも事実である。BIOS ルーチンを使用すると、プログラムを簡素化できることが多い。ある種のシステム動作は、ソフトウェアによって、簡単にアクセスできるようになる。これらのルーチンは、適度に文書化され、かつ十分理解されているので、プログラマは心配なく使用することができる。

7.4 BIOSの互換性

互換機メーカーの最終目標は、自社のマシンに使用されている BIOS を、AT の BIOS と完全に同じにすることである。最も新しく最も高性能なコンピュータであっても、古い AT が行っていることはすべて模倣しなければならない。すべてのプログラムは、PC に対して、最低限 AT と同じだけの機能があることを前提としている。

いかに互換機が素晴らしくても、互換機は完全に本物にはなりえない。IBM に使用されたコードは、ほかの者が勝手に複写することを合法的に禁じた著作権によって守られ、互換機メーカーは、IBMの BIOS を複写せずに、自社独自の BIOS ルーチンを書くように義務付けられている。

著作権法が他人の著作物の複写を禁じているため、互換 BIOS は「クリーン」に書かれる。つまり、プログラマは (IBM の BIOS の) ソースコードを見たり、ソースコードに含まれるルーチンについて、いかなる知識も持つことは許されない。代わりにプログラマは、インストラクションが与えられたときに、BIOS が実行する機能のリストをもとにしてBIOS を書く。要するに、プログラマは模造の対象になる BIOS を、入力を受け取り出力を与えるブラックボックスとみなし、必要な結果をもたらすインストラクションを推論するのである。

しかし、このようにして BIOS を書くのは時間も費用もかかる。BIOS の作成を全部自社で行えるようなリソースを持つコンピュータメーカーはほとんどない。このため、大多数の互換機メーカーは、American Megatrends Inc. (AMI) やAward Software、Phoenix Technologies Ltd.、Mr.BIOS といった BIOS メーカーから、必要なBIOS のファームウェアを購入している。この手段をとれば、著作権の侵害を心配せずに、確実に動作する BIOS を手に入れることができるわけだ。

量産する PC へのインストールを目的に、BIOS のファームウェアを大量に購入すると、互換 BIOS の使用権はかなり割安になり、場合によっては1 コピーあたりたった数ドル程度になる。これに対し、個人が自分のコンピュータ用に1個ずつBIOSを買うとなると、使用権はたいへん高価なものになってしまう。これは、大量購入によって可能になるコストダウンの恩恵を受けることができないためだ。さらにコンピュータメーカーは、多くの場合BIOSのコードをディスクかテープで購入し、必要な分だけ(対価を払って)コピーを作っているのに対し、個人だとコードを書き込むPROMチップも買わなければならない。したがって、BIOSのコピーを1個単位で購入すると、どういう形態で誰から買うのかによるが、20~50ドル程度の費用がかかる。

BIOS ベンダーは、自社の製品をそれぞれ個別に開発しなければならないため、各社の製品が使用するコードは、厳密には異なっている。このため、各 BIOS は IBM XT 標準との互換性の点で違いが生じる。

各 BIOS の最大の相違点の1つは、エントリポイントである。各 BIOS の様々なコードルーチンは、PCのメモリマップの中の BIOS 機能に割り当てられたアドレスから開始し、終了する。各ルーチンの開始アドレスは、そのルーチンのエントリポイントと呼ばれる。アプリケーションの中には、いくつかのエントリポイントが BIOS の特定の物理アドレスにあることを前提に作られているものがある。システムのハードウェアにダイレクトに書き込みを行うのと同様に、これらの特定のアドレスを呼び出すプログラムは、コンピュータの性能を最大限に生かそうとしている。BIOS のエントリポイントが、プログラムが予想したものと異なる場合は、システムクラッシュという結果も生じうるのだ。

IBM は、自社のすべての BIOS については、同一のエントリポイントを維持しており、多くの互換 BIOS も、まったく同じアドレスを使用している。ただし、わずかながらそうでない BIOS もある。一般には、異なるエントリポイントを持つこ

れらの BIOS は、コンピュータの設計者の必要に合わせて、様々な組み合わせができるプログラミングモジュールとして書かれてきた。これらの「モジュラー BIOS」は柔軟性を増した分、互換性を失っている。

しかしながら、システムのハードウェアに直接 アクセスするプログラムとは異なり、特定の BIOS エントリポイントを必要とするプログラムはまれ にしか存在しない。互換機やモジュラー BIOS が 一般的になれば、このようなプログラムは、当然 さらに少なくなるだろう。最近のソフトウェアは、 エントリポイントを同じにしなければ実現できな いような互換性からは、離れようとしている。

BIOS の互換性についてはこれ以外にも、BIOS を交換しようとした場合、実装するコンピュータ

側との互換性の問題がある。両者の互換性を保証することは、けっして単純な話ではない。すべてのBIOS は、それぞれ特定のハードウェア専用に作られているからである。BIOS の仕事のひとつは、設計の異なるハードウェアを統合することで、すべてのソフトウェアを交換して動かせるようにすることである。このため、すべてのBIOS は、その制御するコンピュータに合わせてカスタマイズされており、マザーボードメーカーも、目的に応じてBIOS を変更して使っている。すべてのコンピュータできちんと動作する包括的な BIOS というものは存在しないのだ。したがって、何らかの理由で自分のBIOS を変更もしくはアップグレードしたい場合は、自分のコンピュータの正確な型式に合った BIOS を入手する必要がある。

7.5 BIOSの性能

パーソナルコンピュータの BIOS は、BIOS コードの効率と、システムのリソースすべてに及ぶ BIOS の制御という 2 つの面で、システムの性能 に影響を及ぼしている。要するに、良い BIOS は、コンピュータの性能を向上させることができるのだ。

本来 BIOS ルーチンは、その内容を明確に知られることはない (関心も持たれない) ため、プログラムにとってはブラックボックスのようなものだが、BIOS ルーチンのアセンブリ言語のインストラクションは、実際には BIOS によってかなり異なっている。BIOS によって、一定の機能に対するインストラクションの数が少ないということは、プログラムが BIOS ルーチンを呼び出すたびに実行されるステップが少ないということであり、そのステップが使用するクロックサイクルも少なくて済む。したがって、一定の機能を実行するためのインストラクションの数が最も少ない BIOS が、最も効率が良いといえる。そして、BIOS の効率が良ければ、結果としてシステムはより高速に走る

のである。

もちろんこの差は、プログラムが BIOS ルーチンを使用するときにしか現われない。高性能なプログラムは、ほとんどが BIOS を回避して直接ハードウェアを制御しているため、BIOS の善し悪しは、高速に動作するプログラムの多くには関係がない。大抵のソフトウェアにとっては、BIOS 効率の差はとりたてて気にするほどのものではないのだ。

これよりも、BIOSが、ホストコンピュータを 初期化する方法によって生じる性能の差の方が重 要である。BIOSの中には、マイクロプロセッサの ローカルバスと入出力チャネルの間の関係を最適 化するにあたって、うまく機能しているものがあ る。最近のほとんどのチップセットに関していえ ば、両者間の関係は完全にプログラマブルになっ ている。さらに、ほとんどのチップセットでは、 たとえば、メモリのインターリーブ機能の切り換 えや、キャッシュの最適化など、様々な機能が搭 載されており、これによってシステムの性能を向 上させることが可能になっている。これに対し、 簡単な BIOS でも PC を機能させることはできるが、これらの優れた機能を最適化しないため、PC に組み込まれた高い潜在能力を殺してしまうことになる。より優れた BIOS になると、使用できるすべての機能に対して、最適な状態になるように自動的に設定を行う。高度なセットアップ手順を踏めば、BIOS によってこれらの重要なシステムのパラメータを自由に変更することが可能なので、より最適な設定も可能になるだろう。

残念ながら、BIOSがどの程度うまく動作しているかは、コンピュータの動作からしかわからない。アプリケーションを走らせてみて、システムの動きや速度から判断するのが唯一の方法である。BIOSの効果による性能の差を見極めることは、ほとんど不可能だが(同じシステムボードでBIOSだけ違うようなコンピュータはほとんどない)、少なくとも与えられたシステムが、ユーザーを満足させる程高速に動作するかどうかは分かる。

7.6 PC BIOSの基本

IBM BIOS は最初の PC と共に登場した。IBM BIOS は、その時点ではおそらく、世界中で最も多く出荷されたソフトウェアルーチンということになるだろう。「PC BIOS」は、その後の IBM BIOSに使用されているすべてのエントリポイントを配置し、ほとんどの互換 BIOS もそれにならった。また PC BIOS は、すべての BIOS に必要な、また必要となるであろう機能を明確にし、BIOS の動作の仕組みを確立した。現在すべてのパーソナルコンピュータに必要不可欠な「AT BIOS」は、パーソナルコンピュータの基本的な設計を損なうことなく、わずかながらも性能を向上させた。IBM PCと AT BIOS は、BIOS の動作の仕組みを理解するための出発点である。

BIOS の動作

IBM BIOS は、ソフトウェア割り込みのシステムによって動作するように設計されている。ルーチンを起動するために、プログラムはそれに該当する割り込み、すなわち、マイクロプロセッサに対する特殊なインストラクションを発行する。表7-1は、BIOSの割り込みとその機能をまとめたものである。

ソフトウェア割り込みによって、マイクロプロ

セッサは現在実行中の処理を中止して、別のルーチンを実行する。実際にこの過程では次の動作が行われる。マイクロプロセッサは、処理中のコードの実行を中断すると、その番地をセーブし、メモリの一部に格納されている割り込みベクタのリストを検索する。割り込みベクタは、その割り込みに対応したコードがある位置を、マイクロプロセッサに通知するポインタである。マイクロプロセッサは、ベクタの値を読んで、そのベクタに格納された値のアドレスに置かれたコードを実行し始める。

割り込みベクタの表は、マイクロプロセッサのメモリのスタート地点でもある 00000h 番地から始まっている。ベクタはいずれも 4 バイト構成で、番号順に格納されている。コンピュータのブートアップ時に、各ベクタの初期値は、BIOS が格納されている ROM から RAM ヘロードされる。これらのベクタをプログラムで書き換えることにより、ソフトウェア割り込みの意味を変更することができる。常駐プログラム (TSR:「SideKick」のようなポップアッププログラムや、「Pro-Key」のようなバックグラウンドプログラムなど) はこの種のプログラムの典型的な例で、自分自身の目的に合わせて割り込みベクタの変更を行う。

表 7-1 BIOS の割り込みと機能

割り込み	機能		
00h	0による割り算		
01h	シングルステップ		
02h	マスク不可割り込み		
03h	ブレイクポイント		
04h	オーバーフロー		
05h	画面印刷		
06h	(予約)		
07h	(予約)		
08h	システムタイマ		
09h	キーボード		
0Ah	(予約)		
0Bh	(予約)		
0Ch	(予約)		
0Dh	(予約)		
0Eh	フロッピーディスク		
0Fh	(予約)		
10h			
11h	装置決定		
12h	メモリサイズ決定		
13h	フロッピーディスク		
14h	非同期通信		
15h	システムサービス		
16h	キーボード		
17h	プリンタ		
19h	ブートストラップローダ		
1Ah	システムタイマとリアルタイムクロックサーヒ	ごス	
1Bh	キーボードブレーク		
1Ch	ユーザータイマチェック		
1Dh	ビデオパラメータ		
1Eh	フロッピーディスクパラメータ		
1Fh	ビデオグラフィックスキャラクタ		
20h~3Fh	DOS 用に予約済み		
40h	フロッピーディスクリベクタ		
41h	ハードディスクパラメータ		
42h	(予約)		
43h	(予約)		
44h	(予約)		

割り込み	機能	
46h	ハードディスクパラメータ	400000
47h	(予約)	
48h	(予約)	
49h	(予約)	
4Ah	ユーザーアラーム	
4Bh~5Fh	(予約)	
60h~67h	ユーザープログラム割り込み用に予約済み	
68h~6Fh	(予約)	
70h	リアルタイムクロック割り込み	
71h~74h	(予約)	
75h	マスク不可割り込みへりダイレクト	
76h~7Fh	(予約)	
80h~85h	BASIC 用に予約済み	
86h~F0h	BASIC 実行時の BASIC 割り込みで使用	
F1h~FFh	ユーザープログラム割り込み用に予約済み	

使用できる割り込みの数は、BIOSのすべての機能を満たすのには十分でないため、多くの割り込みは、複数の異なる機能を担当するようになっている。これらの機能はパラメータの受け渡しによって区別される。情報はパラメータ(ソフトウェア割り込みの発行時に、1個以上のレジスタに保持されている値)としてBIOSルーチンに引き渡される。そして、BIOSルーチンが実行の結果を得ると、その結果は呼び出したプログラムに戻される。

拡張性

IBM BIOS は拡張可能 BIOS なので、広範な汎用性がある。BIOS の全範囲は、ファームウェアが入っている 1 個の PROM チップの中で永久に決まってしまうわけではない。IBM BIOS は、この 1 個の集積体の中に、新たなコードを自分のものとして追加することができる。つまりここでいう拡張性とは、BIOS PROM を交換することによって実現されるのではなく、増加分の BIOS ルーチンを含んだ新たな PROM チップを、コンピュータに追加できるということを意味している。IBM BIOS はこのようにして新しいルーチンを組み込

んでいる。

IBM BIOS と互換 BIOS はいずれも拡張可能だが、例外もある。ごく初期の PC に搭載されている BIOS がそれで、64K バイトのメモリしかシステムボードにインストールできないため、拡張不能であった。このマシンのほとんどはすでに姿を消しているが、このような機種では、BIOS の更新は、ROM の交換という方法で行うのが普通だった。

IBM BIOSを拡張可能にしているのは、特別なファームウェアルーチンである。BIOSはこのルーチンを使って「アドインコード」を捜す。ブートアップ時にBIOSコードは、アドインボード上のコードの記憶用に予約されたアドレス範囲を検索する。もし有効なコードの一部が見つかったら、BIOSはそれらのインストラクションをBIOSのレパートリーに加える。たとえば、新しい割り込みルーチンを追加することもできるし、現行ルーチンの機能を変更することもできるわけだ。

BIOS を拡張するルーチンは次のように動作する。パワーオンセルフテスト (POST) 中、割り込みベクタが RAM にロードされると、常駐の IBM BIOS コードはコンピュータに命令して、アドイ

ン BIOS ルーチンの始まりを示す特別なプリアンブルバイトがないかどうか、ROM メモリをチェックさせる。BIOS は、絶対アドレス 0F4000h から 0C8000h の領域の中から、これらのプリアンブルバイトを捜す。

特別なプリアンブルバイトを発見すると、BIOSは、512 バイトのブロックの指定された数について、巡回冗長検査(CRC)を実行して、コードの次のセクションが BIOS の正当な拡張部分であることを検証する。このブロックの各バイトの値は、0100hを法とした剰余加算を使用して合計される。その結果は4,096で全バイトの合計を割った結果と同じになる。余りがゼロの場合は、拡張 BIOSに有効なコードが含まれているということを示している。

プリアンブルバイトは2バイトから成り、拡張コードのセクションの始まりを表わしている。最初のバイトは055hで2番目のバイトは0AAhである。この2バイトの後ろに続く3番目のバイトは、追加BIOSの長さを表わしたものである。数は追加コードを保持するのに必要な512バイト長のブロックの総数を表わしている。

有効なコードの範囲が確認されると、システム制御 (BIOS プログラムの実行) は拡張 BIOS の4番目のバイトまでジャンプして、機械語で記されたすべての機能を実行する。これらのインストラクションの典型的な役割は、BIOS に特別なコードのインストールの方法を教えることである。拡張 BIOS のインストラクションが完了すると、制御は常駐 BIOS に戻り、BIOS を拡張するルーチンの動作を終了する。その後も、システムは拡張 BIOS の追加ブロックを捜し続け、絶対アドレスの 0F4000h にまで達してその検索が完了すると、システムはディスクからブートアップを開始する。

この追加の BIOS コードが含まれている ROM チップは、必ずしもシステムボード上になくても よい。使用するメモリロケーションは、拡張バス 上でアクセスすることもできるため、BIOS に追加される新しい ROM チップは、拡張ボードのひとつとしてコンピュータに搭載されることもある。拡張用のアクセサリを制御するのに必要なコードは、システムがブートするときに自動的にロード

される。このアドオンコードのセクションは、アドレスの範囲の許す限り、どのコンピュータにも適合する。ひとつ面倒なのは、2つ以上のコードのセクションが、同じメモリエリアを占有することができないということである。このため、PCシリーズ用の拡張ボードはほとんど、ジャンパスイッチもしくは DIP スイッチがあり、これを使って BIOSの拡張部分が使用するアドレスを割り当てなおすし、衝突を回避できるようになっている。アドレスの再割り当ては、拡張ボードの誤動作を防ぐために必要なセットアップ作業のひとつである。

日付の調べ方

ほとんどすべての BIOS には著作権の表示が含まれており、使用者は使用する BIOS の製作者が誰であるかわかる(もっとはっきりいえば、著作権の表示を BIOS の中に書き込むことによって、BIOS メーカーは自社の BIOS が勝手にコピーされないようにしているのである)。また、いつコードが更新されたか確認できるように、ほとんどのBIOS には最新の改訂日付も含まれている。

この BIOS の日付は、有効な判断基準として使用できる。パーソナルコンピュータが能力を拡張するに伴い、BIOS は新しい動作を可能にするために修正されるが、そうなると、古い BIOS は新しい周辺装置では機能しない場合が出てくる。最近では、AMI の初期の BIOS が、AT インターフェイスのハードディスク装置で正しく動作しなかったという例がある。1990 年4月にはこの問題は修正されたが、多くのコンピュータが古いコードの BIOSを搭載したままになっている。この場合、BIOSの日付をチェックすればその BIOS が改訂以前のものか以後のものかわかる。4-09-90(1990 年4月9日) 以降の日付の AMI BIOS であれば修正が組み込まれている。

ほとんどの BIOS は、EPROM チップの窓の上に貼り付けられたラベルに、日付とリビジョンナンバーが著作権の表示と一緒に印刷されている。しかし、ユーザーはコンピュータのケースを開けてラベルを見なくても、さらにどれが EPROM チップかわからなくても、その BIOS の日付を確認することができる。DOS に付属してくる「DEBUG」

コマンドを使えば、BIOS のコードに組み込まれた日付を調べることができるのである。

BIOS の日付をチェックするには、この DEBUG プログラムを走らせるだけでよい(この処理はほ とんどすべての機種で有効である)。

DEBUGプログラムを実行すると、"ー"(ハイフン)のプロンプトが表示されるので、次の命令をタイプする。

D FOOO: FFFO

数字と文字からなる神秘的な行が画面に表示されるはずだ。この行は3つにわかれていて、左のブロックは16バイトごとに表示されるメモリロケーションのラベルである。この場合は0FFFOhである。中央のブロックのキャラクタは、これら16バイトのメモリのそれぞれの内容を示している。右側のブロックはこれらの値をASCII式で示したものである(その値が印字可能なキャラクタである場合)。BIOSの日付は右の列に表示されるはずだ。

DEBUG プログラムの操作方法

ほとんどのパージョンの DOS に付属されているデバッグプログラムを動作させるには、現在選択されているディスクとディレクトリの中に DEBUG.COM プログラムがあるか、このプログラムが環境変数 PATH でアクセス可能になっている必要がある。この条件が整ったら、次のように入力する。

DEBUG

デバッグプログラムがロードされると、ハイフンのプロンプトが表示されので、次のコマンドを入力する。

D FOOO:FFFO

入力すると次のように表示される。この行の中で BIOS の日付は右列に表示されている。

F000:FFF0 EA AC 86 00 F0 20 30 39-2F 32 33 2F 38 37 FC 45....09/23/87.E

プログラムを終了するには、ハイフンのプロンプトに終了コマンドを入力する。この場合、 "Q"をタイプすればよい。

-Q

すると、DEBUG コマンドは終了し、DOS プロンプトへ戻る。

システム識別バイト

正確には BIOS の一部ではないが、IBM ROM には、IBM のシステム識別バイトが含まれている。このシステム識別バイトは2つのバイトから成るもので、プログラムはこれを読めば、自分が動かそうとしているコンピュータのタイプや、システムボードのタイプがわかる。

最初 IBM は、この目的には 1 バイトしか割り 当てていなかったが、XT の 286 モデルになって、 もっと細かな識別ができるように、もう1バイト追加した。IBM 用語でこれらのバイトは、モデルバイトとサブモデルバイトと呼ばれる。

モデルバイトは、絶対メモリアドレス OFFFFEh にあり、サブモデルのバイトはその次に続いている。表7-2に、様々な IBM のコンピュータのモデルバイトとサブモデルバイトを示した。一般に互換機は、自分に最も似ているシステムのバイト値を使用している。

表 7-2 IBM のモデル識別バイトとサブモデル識別バイト

システム	モデル識別バイト	サブモデル識別バイト	リビジョン
PC	FFh	none	none
XT	FEh	none	none
ポータブル PC	FEh	none	none
XT (1986年1月10日)	FBh	00h	01h
XT (1986年5月9日)	FBh	00h	02h
PCjr	FDh	none	none
AT (初期)	FCh	none	none
AT (1985年6月10日)	FCh	00h	01h
AT (1985年11月15日)	FCh	01h	00h
XT モデル 256	FCh	02h	00h
PC コンバーチブル	F9h	00h	00h
PS/2 モデル 30	FAh	00h	00h
PS/2 モデル 50	FCh	04h	00h
PS/2 モデル 60	FCh	05h	00h
PS/2 モデル 80	F8h	00h	00h
PS/2 モデル 80	F8h	01h	00h

BIOS のデータエリア

BIOS コードが実行を始めると、BIOS は、動作に重要なパラメータの値を格納するために、ホストシステムのメモリの一部を利用する。格納されたデータの中には、装置フラグ、入出力アダプタのベースアドレス、キーボードキャラクタ、そして

操作モードが含まれている。この BIOS のデータ エリアには、絶対メモリアドレスの 0000400h か ら始まる 256 バイトのメモリが使われる。表 7-3 は、BIOS のデータエリアの中で、重要かつ興味 深いバイトのいくつかについての定義である。

表 7-3 重要な BIOS のデータエリアの割り当て

アドレス	機能
0400	第1-RS232 アダプタ (COM1) のベースアドレス
0402	第 2-RS232 アダプタ (COM2) のベースアドレス
0404	第 3-RS232 のアダプタ (COM3) PS/2 のみ
0406	第 4-RS232 のアダプタ (COM4) PS/2 のみ
0408	第1プリンタアダプタ (LPT1) のベースメモリ
040A	第2プリンタアダプタ (LPT2) のベースメモリ
040C	第3プリンタアダプタ (LPT3) のベースメモリ
0410	インストール済みハードウェアフラグ
	ビット 0=IPL ディスク
	ビット1=数値演算コプロセッサ
	ビット 2=ポインティングデバイス (PC、XT、AT、互換機以外)

アドレス	機能			
- 1-1-1-1	ビット 4、5=ビデオモード			
	$01 = 40 \times 25 \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ $	$1 = 80 \times 25$	モノクロ	
	ビット 6、7=フロッピーディスクドライブの数	数		
	ビット 9、10、11=シリアルポートの数			
	ビット 13=内部モデル (コンバーチブルのみ)			
	ビット14、15=プリンタアダプタの数			
0412	フラグの初期化			
0413	ベースメモリのサイズ			
0417	キーボードステータスフラグ			
	ビット 0=右 Shift キー入力			
	ビット1=左 Shift キー入力			
	ビット 2=Ctrl キー入力			
	ビット3=Altキー入力			
	ビット 4=Scroll キー入力			
	ビット 5=Num Lock がロック			
	ビット 6=Caps Lock がロック			
	ビット7=Insert がロック			
0418	追加キーボードステータスフラグ			
	ビット 0=左 Ctrl キー入力			
	ビット 1=左 Alt キー入力			
	100 0 0 7			
	ビット4=Scroll Lock キー入力			
	ビット 5=Num Lock キー入力			
	ビット 6=Caps Lock キー入力			
	ビット 7=Insert キー入力			
0419	オルタネートキーパッド入力の記憶エリア			
041A	キーボードバッファの最初の文字に対するポインタ	7		
041C	キーボードバッファの最後の文字に対するポインタ			
041E~042D	キーボードバッファ			
043E	ディスケットドライブシークステータス			
01012	ビット 0= ドライブ 0 のリキャリブレート			
	ビット 1=ドライブ1のリキャリブレート			
	ビット 2=ドライブ 2 のリキャリブレート			
	ビット 3=ドライブ 3 のリキャリブレート			
	ビット7=割り込みフラグ			
043F	ビット 7=割り込みフラグ ディスケットドライブモータステータス			
043F	ビット 7=割り込みフラグ ディスケットドライブモータステータス ビット 0=ドライブ 0 モータがオンの状態			

アドレス	機能	200
	ビット 2=ドライブ 2 モータがオンの状態	1771
	ビット 3=ドライブ 3 モータがオンの状態	
	ビット 4、5=ドライブ選択	
	00=ドライブ0;01=ドライブ1;10=ドライブ2;11=ドライブ3	
	ビット 7=ライト/リード動作フラグ	
0440	ディスケットドライブモータのカウント	
0441	ディスクドライブ動作ステータスの最終フラグ	
	00=エラーなし	
	01=無効なディスクドライブのパラメータ	
	02=アドレスマーク未検出	
	03=ライトプロテクトのエラー	
	04=要求されたセクタ未検出	
	06=ディスク変更線が起動	
	08=動作中の DMA のオーバーラン	
	09=64K の DMA アクセスの試行	
	0C=メディアタイプ未検出	
	10=ディスク読み取り中の CRC のエラー	
	20=一般コントローラ失敗	
	40=シーク動作失敗	
	80=ディスクドライブがノットレディ	
0449	現在のビデオモード	
044A	モニタ画面に表示される縦の行数	
044C	バイト表示したバッファ領域長	
044E	バッファ領域のスタートアドレス	
0450~045F	最大8ページのカーソルの現在の位置	
0460	カーソルモードの設定	
0462	現在表示されているページ	
0463	動作中のビデオアダプタボードのベースアドレス	
0465	3×8 レジスタの現在の設定	
0466	3×9 レジスタの現在の設定 (ビデオパレット)	
046C~046F	現在のタイマのカウント	
0470	タイマが最後の読み出し後からロールオーバしていることを示すフラグ	
0471	ブレークキーが押されたことを示すフラグ	
0472	フラグのリセット	
	1234=バイパスメモリテスト	
	4321=リセット時のメモリ保持(マイクロチャネル PS/2 のみ)	
	5678=システムサスペンド (コンバーチブルのみ)	
	9ABC=製造テストモード (コンバーチブルのみ)	
	ABCD=システム POST ループモード (コンバーチブルのみ)	

アドレス	機能	7:17
0474	ハードディスクステータスフラグ(最終動作の結果)	
	00=エラーなし	
	01=無効機能要求	
	02=アドレスマーク未検出	
	03=ライトプロテクト検出	
	04=セクタ未検出	
	05=リセット失敗	
	07=ドライブパラメータ起動失敗	
	08=動作中の DMA オーバーラン	
	09=データ境界エラー	
	0A=不良セクタフラグ検出	
	0B=不良トラック検出	
	0D=フォーマット時の無効のセクタ数	
	0E=制御データアドレスマーク検出	
	0F=範囲外の DMA 調停レベル	
	10=ECC または CRC の修正不能エラー	
	11=データエラーが修正された ECC	
	20=一般コントローラ失敗	
	40=シーク動作失敗	
	80=タイムアウト	
	AA=ドライブ未準備	
	BB=不確定エラー発生	
	CC=選択されたドライブへの書き込み失敗	
	E0=ステータスエラー	
	FF=認識動作失敗	
0475	インストールされているハードディスクの数	
0476	固定ディスクドライブ制御ポート (XT のみ)	
0478	LPT1 プリンタのタイムアウト値	
0479	LPT2 プリンタのタイムアウト値	
047A	LPT3 プリンタのタイムアウト値	
047C	COM1 シリアルデバイスのタイムアウト値	
047D	COM2 シリアルデバイスのタイムアウト値	
047E	COM3 シリアルデバイスのタイムアウト値	
047F	COM4 シリアルデバイスのタイムアウト値	
0480	キーボードバッファ開始ベースアドレス	
0482	キーボードバッファ終了ベースアドレス	
0484	表示される行(1を引く)	
0485	キャラクタの高さ (キャラクタあたりのビット数、EGA 以降)	
0488	フィーチャビットスイッチ	

アドレス	機能
048B	最後に選択されたディスクデータ速度を表わすフラグ
	ビット 6、7:00=500K/秒;01=300K/秒;10=250K/秒
048C	ステータスレジスタフラグ
048D	エラーレジスタフラグ
048E	ハードディスク割り込みフラグ
0490	ドライブ A メディアステートフラグ
	ピット1、2、3:
	000=360K ディスク/360K ドライブが未確立
	001=360K ディスク/1.2M ドライブが未確立
	010=1.2M ディスク/1.2M ドライブが未確立
	011=360K ディスク/360K ドライブが確立
	100=360K ディスク/1.2M ドライブが確立
	101=1.2M ディスク/1.2M ドライブが確立
	111=上記以外
	ビット 4=メディアが確立
	ビット 5=ダブルステッピングが必要 (360K ディスクが 1.2M ドライブに入っている)
	ビット 6、7:00=500K/秒;01=300K/秒;10=250K/秒
0491	ドライプBメディアステートフラグ
	(各ビットの意味は、ドライブ A メディアステートフラグと同じ)
0492	ドライブ A 動作開始ステートフラグ
0493	ドライブ B 動作開始ステートフラグ
0494	ドライブ A 現行シリンダフラグ
0495	ドライブ B 現行シリンダフラグ
0496	キーボードモードステートとタイプフラグ
	ビット 0=最後のコードは隠しコード E1
	ビット 1=最後のコードは隠しコード E0
	ビット 2=右 Ctrl キーが押されている
	ビット 3=右 Alt キーが押されている
ran ar a	ビット 4=101/102 キー (アドバンスド) キーボードがインストールされている
	ビット 5=ID 及び KBX を読み込んだ場合 Num Lock 強制
	ビット 6=最後のキャラクタは最初の ID キャラクタ
	ビット 7=実行中の ID を読む
0497	キーボード LED フラグ
	ビット 0=Scroll Lock オン
	ビット 1=Num Lock オン
	ビット 2=Caps Lock オン
	ビット 3=予約済み (0)
	ビット 4=アクノリッジ受け取り
	ビット 5=再送レシーブフラグ

アドレス	機能	
	ビット 6=モードインジケータ更新	
	ビット 7=キーボード転送エラーフラグ	
04CE	カレンダ (1980 年 1 月 1 日からカウント)	
0500	プリントスクリーンステータスフラグ	
	00=準備中/準備完了	
	01=画面表示の印刷	
	FF=エラー	

ROM BASIC

厳密にいえば、IBM のすべてのコンピュータのROMには、IBM BIOSではないものが含まれている。著作権によって保護されているだけでなく、機能とエントリポイントについて文書化されていないため、どの互換機メーカーもこの部分はコピーしない。この部分のコードは、カセットBASICとかROMBASICと呼ばれる、原始的なプログラミング言語である。

カセット BASIC 言語の本来の目的は、最初の IBM PCが、ディスクドライブなしでもいくつかの動作、いや、すべての動作が実行できるようにすることであった。ドライブにシステムディスクを入れずにブートさせると、IBM のコンピュータは、カセット BASIC 言語を実行し始める。

IBM PC は、発表当時はディスクは標準装備されておらず、多くの小型コンピュータは大容量記憶装置としてカセットレコーダーのみを使用して動作していた。このような PC は、カセット BASICによって、ブートアップしてテープからプログラムをロードすることが可能になっているのだ(簡単な BASIC プログラムを走らせることも可能)。

PC DOS には、BASIC 言語のもっと進歩した バージョンが含まれた。ただし、この BASIC コー ドは、すでに IBM マシンの ROM の中にあるカセット BASIC を拡張するように設計されたものである。コードの主要部分は、すでにマシン内のROM にあるため、DOS のディスクに敢えてこの部分をコピーする必要はまったくないわけだ。ディスクから「BASIC」や「BASICA」プログラムをロードすることで、カセット BASIC を拡張する新しいルーチンが容易に追加されるのである。

非 IBM マシンは、ROM にカセット BASIC が入っていない。したがって、ブート時にディスクが用意されていなければ何も起こらない。さらに、PC DOS に含まれている BASIC 言語や BASICA 言語のインタープリタプログラム走らせようとすると、クラッシュしてしまう可能性もある。これは、BASIC や BASICA を完全な言語とするために必要になる、ROM のコードを見つけられないためで、BASIC も BASICA もマシン自身も、訳が分からなくなってしまうのである。

Microsoft から直接販売されている「GWBASIC」 言語や、多くの互換機に添付されている BASIC インタープリタ言語は、動作するにあたって ROM ベースの IBM カセット BASIC を必要としない。したがって、これらの言語は、事実上どの $PC \, \overline{D}$ 換機でも走る。

7.7 BIOSの補足機能

あらゆる PC に組み込まれた基本 BIOS に加え て、いくつかのマシンでは、従来の BIOS の機能 を向上させたり補足する機能が追加された。その 中でも最も劇的な改良は、PS/2シリーズのマシ ンにおいて行われた。PS/2の設計では大きな改 良が施されたため、追加された機能が扱えるよう に、IBM は、BIOS の多くの形式を改訂しなけれ ばならなかった。また、マルチタスクのソウトウェ アのための追加のコードも加えられた。この結果、 BIOSのファームウェアは、システムのほかの部 分と以前よりも強く統合され、BIOS は、新しい システムボードのハードウェアと、セットアップ を助ける特殊なソフトウェアを含む、完全なシス テムの一部となった。この追加された機能の助け によって、インストールされるオプションやアク セサリとコンピュータは、一層うまく適合できる ようになった。

PS/2のPOS機能

IBM は、PCをサポートした最初の数年間の中で、システムの問題のほとんどは、拡張ボードのDIPスイッチの設定ミスか、誤って設定された拡張ボード間の相互作用に起因することに気が付いた。このような問題を排除するため、IBM は自社のマイクロチャネルコンピュータに Programmable Option Select (POS)と呼ばれるソフトウェアベースの設定方法を追加した。

POSによって、ジャンパスイッチや DIP スイッチは必要なくなった。代わりに、すべての設定作業はソフトウェアによって処理され、セットアップ情報は、CMOSメモリや特別なディスクファイルに格納されるようになった。PS/2の BIOS は、システムがブートされるたびに、格納されているコンフィギュレーション情報を、各拡張ボードに自動的にロードする。また、BIOSによってセットアップ情報が以前と変わらない状態であることも保証される。

POSの処理は、アダプタの識別番号(マイクロ

チャネルアダプタの各モデルにそれぞれ割り当て られている固有の名称)を元にして進行する。識別 番号は4桁の数にコード化され、2バイトのデー タとして格納される。マイクロチャネル拡張ボー ドは、いずれもこの識別番号を持っていなければ ならない。IBM は、自ら手形交換所のような役目 を果たし、この識別番号を使って、拡張ボードの 動作の衝突を防止しようとしている。これに対し て、マイクロチャネル用のアクセサリメーカーの 中には、勝手な番号を自社の製品に付けて、衝突 の可能性を生み出してしまうところや、また、自 社製品の互換性の正当性や、あるいはその雰囲気 だけでもユーザーに与えようと、自社製品と似通っ たアダプタに IBM が使用している番号を、その ままコピーしてしまうメーカーもあるかもしれな い。しかし、どちらの方法も勧められていはない。 実際、2 バイト方式なら 65.536 通りの組み合わせ が可能であり、ひとつひとつの拡張製品に割り当 てる固有の識別番号は、しばらくの間不足するこ とはないのだ。

POSのプロセスは、拡張スロットをひとつひと つ選択し、アダプタがあるかどうかそれぞれに照 会することから始まる。スロットにアダプタがな ければ応答はない。アダプタがあれば、POSのプ ロセスはそのアダプタの識別番号を照会する。そ して、この番号は、そのスロットに割り当てられて いる CMOS メモリに格納された値と比較される。

アダプタ記述ファイル

2つの番号が一致していれば、POSはブートディスクのアダプタ記述ファイルを探す。この特殊なファイルには、アダプタに関する設定のセットアップ情報が含まれている。ファイルが見つかるとその値が読み出され、拡張カードがセットアップされる。そして、続いて次のスロットが照会される。

カードから読み出された識別番号が CMOS に 格納されている番号と違っていたり、アダプタ記 述ファイルが見つからない場合はエラーとなるの で、再びシステム設定ユーティリティを走らせなければならない。

IBMは、アダプタ記述ファイルの正確な内容と構成を規定している。その内容が PS/2 のリファレンスディスクの設定ユーティリティに使用されるからである。プロンプトとオプション選択はすべてファイルにリストされる。オプション選択は設定メニューに読み出され、そこに表示される。

アダプタ記述ファイルは、ファイル名に"ADF" という拡張子が付いていることからそれと判別で きる。ファイル名の4桁の番号は、それに対応する アダプタに割り当てられた認識番号と同じである。

マイクロチャネルの拡張ボードが正しく設定される前に、それに対応する ADF ファイルを、リファレンスディスクの動作用にコピーされたディスクに移さなければならない。このコピーのプロセスを実行するために、設定の手続きの中には "Copy an option deskette"というメニューの選択肢がある。

また、いくつかのマイクロチャネルオプションには、診断符号モジュールや POST エラーメッセージファイルが含まれている。これらはファイル名で識別することができ、ファイル名はオプションの認識番号を元に動作する。これらも同様に、リファレンスディスクの動作用にコピーされたディスクに移される。

POSのプロセスは、PS/2ラインのマシンと共に発展してきた。もともと、POSを制御するセットアッププログラムは、自動でのセットアップを試みた後は、インストールされた周辺装置のリストに従って進んでいた。そして、問題が発生しても元に戻ろうとはしないし、すでに設定されているボードに与えられたリソースを割り当て直すことはしなかった。しかし、POSコンフィギュレーションのもっと最近のバージョンは、すべての衝突が解決されるまで、あるいはオプションが尽きるまで、すべての周辺装置について繰り返し行っている。

設定の手続きを更新するには、普通は新しい周 辺装置をインストールするだけでよい。そのまま の状態で、リソースの衝突なしに PS/2 が動いて いるのなら、新しい周辺装置を追加したときだけ 設定の手続きに配慮すればよい。新しいマイクロチャネルボードはほとんど、設定ルーチンを更新するコードがついてくるので、ユーザーは自動的に更新された設定手続きの恩恵に与かることができる。

PS/2アドバンスドBIOS

マイクロチャネル PS/2 の発売と共に、IBM は標準 BIOS を改訂し、OS/2 やそのほかの進んだアプリケーションの使用の促進を目的とした、新しいプロテクトモードルーチンをこれに追加した。IBM は、このプロテクトモードルーチンについては、既存の BIOS の中に組み込むよりも、別に分けておく方法を採ったため、PS/2 の BIOSは、約 128K バイトの ROM に収められた 2 つのセクションで構成されることになった。

片方のセクションは、互換 BIOS または CBIOS と呼ばれている。これはシステムメモリの最初の 1M バイトに対してのみアドレスを行い、PC DOS によって使用される。以前の IBM BIOS と完全 な互換性があることからこのような名前がついている。

BIOS コードのもう1つのセクションは、完全に新しいものである。これはアドバンスド BIOSまたは ABIOS と呼ばれ、プロテクトモードでは、80286マイクロプロセッサの16Mバイトの範囲内すべてにアクセスする。ABIOSは、当然 PS/2も含まれるマルチタスクシステムをサポートする目的で特別に設計されたものである。

ABIOS の動作方法は、CBIOS とは実質的には 異なっている。ABIOS では、ハードウェアデバ イスにアクセスするために、ソフトウェア割り込 みや、受け渡しパラメータを使用するのではなく、 プログラミング言語のサブルーチンと統合するよ うに意図された、コールシステムをベースとして いる。ABIOS のルーチンを使用するために、プ ログラムは制御権をサブルーチンに渡し、ルーチ ンが完了したら、サブルーチンは制御権を再びプ ログラムに戻す。

ABIOS は CBIOS とは異なり、"リエントラント"(再入可能)である。この機能によって、ABIOS は最初のコールの結果を待つ間に、次のコールを

発行できる。たとえば、プログラムが、ABIOSにシステムのディスクドライブから、データのクラスタを読み出すように要求しているとする。このとき、ディスクの側でデータ転送の準備がまだ整っていない場合でも、ABIOSのルーチンは、ユーザーにディスクの準備が整っていないことを知らせる一方で、引き続きディスクの読み出しを試し続けるのである。ABIOSのルーチンは再入可能なため、実行されているプログラムは、ほかのディスクドライブなどに対する次のコールを発行することができる。このリエントラント機能によって、マイクロチャネルPS/2のABIOSは、本当の意味でマルチタスクモードで動作することができるのである。

BIOS メーカーやパーソナルコンピュータのベンダーの中で、IBM の ABIOS のクローンを作っ

たところはほとんどなかった。OS/2が発表から数年間はなかなか受け入れられなかったため、ABIOSとの互換性に配慮するメーカーはほとんどなかったというのがその主たる理由である。さらに、ABIOSの重要な仕様は、単に286マイクロプロセッサのモードスイッチングを簡単にしただけであり、386やその後のマイクロプロセッサでは、自由にリアルモードとプロテクトモードの間を切り換えることができることを考えれば、ABIOSの最も重要な部分は見当違いなのである。さらに、OS/2は何度か作り変えられて、ABIOSなしでも互換性を高めている。ABIOSを持っている、もしくは模倣しているパーソナルコンピュータにとっては、ABIOSによって得る部分もあるが、これがなくても重大な欠点とはいえないのだ。

AND AND ADMINISTRATION OF THE

第一章

サポート回路



サポート回路は、パーソナルコンピュータをひとつにまとめる接着剤のようなものである。マイクロプロセッサは、パーソナルコンピュータとその周辺装置とを結ぶ信号だけでなく、サポート回路から供給される信号も扱う必要がある。数年間にわたるの開発の過程で、サポート回路の形式や性質は変化してきたが、その機能は一貫して変らず、IBM 互換機を定義する要素の1つである。

釘なしで家を建てることはできないのとまったく同様に、サポートチップなしでパーソナルコンピュータを作ることはできない。パーソナルコンピュータの全機能を統合し、各動作を調整し、内部の信号を制御するためには、多くの回路が必要である。つまり、コンピュータを作るには、マイクロプロセッサ以外にも多くのものが必要なのだ。もしそうでなければ、「マイクロプロセッサすなわちコンピュータ」ということになる。最近では、マイクロプロセッサ以外には、ほとんど何も使用しないようなシステムも多くなっているが、現在のパーソナルコンピュータには、マイクロプロセッサを有効に動作させるために、依然として多数のサポート機能が必要である。サポートチップは、マイクロプロセッサが扱わなければならない信号をマイクロプロセッサに供給するだけでなく、マイクロプロセッサ以外の部分が扱う必要のある信号も生成している。

重箱の隅をつつくのが趣味のような人たちは、釘なしで家は建てられないと聞くと、宇宙時代の接着剤やドライウォールスクリュー、ペグアンドテノン工法などを使用すれば釘なしで家を建てることができることを大喜びで指摘することだろう。こういう了見の狭い人に対する正しい返事は、「現実を認識しなさい」であり、これはまさに今日のパーソナルコンピュータについてもいえることである。今日のパーソナルコンピュータには、旧式のマシンに見られるような、おびただしい数のサポートチップの詰め合わせは存在しない。現在では、必要不可欠なサポート機能は1個のチップの中に収められており、ときにはシステムマイクロプロセッサと同じパッケージの中に組み入れられていることもある。これは、コンピュータの構造が、釘も接着剤も必要ない、まさにプレハブ住宅のようなものであることを示している。

今日のシステムの中には、サポートチップそのものが存在しないシステムもあるが、その場合でも、この不可欠な回路によって実現される機能は残っている。これはつまり、サポート回路はその機能を維持しながら、形式だけが変わってきたということである。釘がなくても、(少なくとも伝統的な形式の家を建てるのであれば)柱や板や梁を互いに留める、釘に代わるものが必要なのである。

8.1 チップセット

初期のパーソナルコンピュータでは、サポート 回路は、様々なディスクリート回路(論理ゲートのような小規模の汎用集積回路)と、それぞれが特定の機能を持つ、いくつかの機能単位との組み合せでできていた。ただし、それぞれの回路や機能 ブロックは、ある特定のコンピュータモデルやコンピュータ設計に限定されたものではなく、汎用のものである。コンピュータに必要な全機能を最初の PC に組み込むために、遊園地の遊具のように多種多様なこれらの回路は結合されたのだ。

PCが、徐々に一般に普及していく中で、先進 性に富んだ半導体メーカーは、互いに関連したコ ンピュータ機能の多くを1つのパッケージに合体 させた。複数のパッケージを使うことを止めて、 すべての機能を相互に連結させることは、パーソ ナルコンピュータの信頼性を向上させることに役 立つ。さらに、複数の回路を1つに統合させるこ の集積化は、パーソナルコンピュータのサポート 回路を安価なものにした。最初は、関係のある機 能だけが組み合わされていたが、半導体メーカー が経験を重ね、製造技術によってより小さい設計 ルールやより高密度のパッケージングが可能にな るに伴い、パーソナルコンピュータ内部の様々な サポート機能が、わずかな数の VLSI 部品に統合 されるようになった。これらひとつひとつのチップ は、特定用途向け IC (Application - Specific Inte grated Circuits) または ASIC と呼ばれ、まとめ てチップセットと呼ばれている。

チップセットは、パーソナルコンピュータ産業を 様変わりさせた。サポート回路が分かれていると、 マザーボードの設計は、本当の意味の設計技術が 問われる。なぜならこの場合の設計には、パーソ ナルコンピュータのすべての要素について、電気 的な機能に対する深い理解が要求されるからであ る。これに対してチップセットを使えば、エンジニアが信号の出入りについて関与しなければならない部品は少なくてすむ。チップセットは、すべての設計者が求める、不思議なブラックボックスのようなものといえよう。実際、多くの場合において、チップセットを使ってパーソナルコンピュータを設計する際に求められる唯一の技能は、地図をもとに目的地までたどり着く能力である。ほとんどのチップセットメーカーは、自社製品の評価を支援する目的で、マザーボード用の回路設計図を提供しているが、市販用のボードを作成するにあたって、このチップセットメーカーから提供される評価用の回路を使っているだけのマザーボードメーカーも多い(こういうメーカーがあまりにも多過ぎるかもしれない)。

今日では、チップセットさえ消えつつある。パー ソナルコンピュータ全体のすべてのサポート回路 を組み込むのに、1個のチップがあれば十分だから だ。さらに、チップメーカーはすでに最終段階に 来ている。つまり、マイクロプロセッサ自体にサ ポート回路を集積化するのである。しかしながら、 単体のチップ設計は、特にノートパソコンやハン ドヘルド PC のような、スペースの問題を抱えた 機器に対してはそれなりの利点もあるが、必ずし も最適なアプローチとはいえない。マルチチップ 構成のほうが、ハードウェアのエンジニアは、製 品のカスタマイズや最適な設計を自由に行うこと ができるからだ。これは、システムの最適化にか かる時間を少なくできる可能性が高いことを意味 している。半導体のコストの点では、1チップ構 成の場合と3チップ構成の場合ではそれほど違わ ないため、デスクトップサイズのマザーボードで は、チップの増加による不利益はほとんどないこ とになる。

8.2 タイミング回路

アナーキーな国々は、我々に、「個人の自由を信じるべきだ、さもなくば武器を売れ」と忠告してきた。しかし、コンピュータ回路にとっては、各構成要素の自由に任せた無秩序状態は容認できない。パーソナルコンピュータにおけるデータ処理の設計は、組織化され管理化された協同作業の上に成り立っているからだ。したがって、「タイミング」は重要な問題である。パーソナルコンピュータを通過する各パルスの意味は、時間の関係に依存している。システム全体が正しく動作するために、適切な瞬間に回路間を信号が通過しなければならない。

コンピュータの回路は、同期回路と呼ばれる技術に基づいて設計されているため、パーソナルコンピュータにとって時間は重要である。コンピュータの論理素子は、すべて同期して動作する。すべての論理素子は、指定された動作をワンステップずつ実行し、各回路は周りの回路と同じタイミングで個々のステップを実行する。この同期動作は、クロックの決まったポイントにビットデータが存在することを保証し、コンピュータがすべてのビットデータをのがさずに処理することを可能にしている。

クロックとオシレータ

システムクロックは、すべての回路が従うべき タイミングをとる「指揮者」のようなもので、正確 に制御された間隔で特定のタイミングパルスを送 り出している。ただしこのクロックは、送り出す きっかけを自分自身の内部で作り出すか、あるい はある種のメトロノームのようなものから得なけ ればならない。

正確に絶え間なく時間を刻む電子回路のことを、オシレータと呼ぶ。ほとんどのオシレータは、簡単なフィードバック原理で動作している。マイクとスピーカが近すぎたりスピーカの音が大きすぎたりすると、マイクはスピーカが発した音声を拾ってしまうが、これと同じ様にオシレータも自分の

発する音を拾っているのだ。

音響のフィードバックによる「ハウリング」は、マイクとスピーカを使った公衆演説では不快の種になるが、実際オシレータもハウリングを発生している。しかし、そのフィードバック回路はとても短いため、信号を遠くまで伝達する必要がなく、周波数も数千倍高いだろう。

オシレータは自分の出力を自分の入力とみなし、信号を増幅して出力に送り、再び入力に戻す。こうして信号の動きは、エンドレスで制御不可能な輪になる。これに対し、オシレータの出力と入力の間に特殊な電子部品を入れて、このフィードバックの輪に障害物を加えると、オシレータを制御することができる。つまり、フィードバックとオシレータの周波数の制御が可能になるのである。

ほとんどすべてのパーソナルコンピュータでは、この周波数を制御する部品として、圧電化合物の1である水晶(クォーツ)が使用されている。圧電物質には変わった特性があって、曲げると微小な電圧を発生し、逆に適当な方法で電圧を加えると曲がる。

水晶は例外なく前述の反応を示すが、この刺激と反応の単純な関係以上に重要な特性を持っている。水晶のサイズや形を厳密に制御することによって、決まった周波数で共振するようにできるのである。この共振周波数はきわめて安定しており、信頼性がたいへん高い(たとえば、これを使用した電子時計の場合、月差を数秒以内に保つことができる)。パーソナルコンピュータでは、論理回路を正確に操作するにあたって、クオーツ時計ほどの絶対的な精度は必要ない。しかし、パーソナルコンピュータでも、クロック周波数については、設計上要求される制限範囲がつねに存在し、クオーツオシレータの基本的な安定性のおかげで、パーソナルコンピュータが使用しているクロック周波数が、その制限範囲内であることを保証できる。

最初の IBM パーソナルコンピュータの設計では、14.31818MHz で共振する水晶発振器が1個

使用されている。このように半端な数の周波数が 選ばれたのには、特別な理由がある。最初のPC を設計したエンジニアは、PCを設計するにあたっ ての要件として、テレビとの互換性が重要である と考え、カラーテレビの信号で使用されているサ ブキャリアの周波数(3.58MHz)の、ちょうど 4 倍 にあたるこの周波数を採用したのである。マルチ メディアの用途を予期していたこともあるが、ど ちらかといえば、PCの画面表示に使える安価な 手段を求めていたのである。PCがリリースされ た当時、安いカラーのコンピュータモニタは手に 入らなかった(手に入ったとしても、それに対応し たカラーグラフィックソフトウェアはほとんどな かった)。

これらの初期のコンピュータに搭載された実際のオシレータは、「8284A」という特殊な集積回路と、14.31818MHzの水晶で構成されていた。水晶の基本周波数の出力は直接拡張バスに送信される。オシレータのもう一方の出力は、パーソナルコンピュータのタイマ/カウンタ回路のタイムベースとして使用する1.19MHzの周波数を得るために、別の補助チップによって分周された。また、この同じ補助チップによって、水晶の基本周波数が3分周され、4.77MHzの周波数が生成されていた。この周波数は、マイクロプロセッサが実際に使用するクロック信号で、システムマイクロプロセッサの動作速度を決定するものである。さらにこのクロック信号で、PCやPC系の8ビットバスコンピュータの内部のすべての論理演算を同期している。

14.31818MHzの水晶が、PCやPC互換のコンピュータの動作速度を決定していることを知ると、もっと高い周波数で動作する水晶に替えるだけで、システムをスピードアップし、システム全体の性能を向上できると考える人がいるかもしれない。 事実、この方法によってパーソナルコンピュータの動作速度は増加するが、いくつかの理由からこの考えは適当であるとはいえない。

この理由となる問題の1つは簡単に解決できる。PCの8088マイクロプロセッサの定格はわずか5MHzで、これ以上のスピードでは正確に動作しない場合があるが、これより高速のクロック

を扱えるマイクロプロセッサ(8088-2、NECの V-20 など) と交換できるようになっている。た だしその場合、システムのほかの部分も、クロッ クの高速化に対応してアップグレードしなければ ならない。大きな障害は、パーソナルコンピュー タの設計が、1個のオシレータだけに基づいてい ることである。したがって、システム全体のすべ てのタイミングのベースとなっている1個のオシ レータの周波数を変えると、システムに異常が発 生する可能性が出てくる。定格を超えた周波数で システムを使い続けると、誤動作することがある のだ。システムのタイミングに依存しているソフ トウェアは、暴走してしまうかもしれないし、拡 張ボードは変更されたバススピードでは動作しな い可能性もある。フロッピーディスクでさえ、あ る種のソフトウェアで使用すると誤動作してしま うかもしれない。

パーソナルコンピュータのオシレータ/クロッ ク設計に関しては、柔軟性や汎用性や有用性など より、むしろ節約ということに主眼が置かれてき たようである。このような初期のシステムでは、 コンピュータ内部で必要とされる数種類の周波数 は、基本となる1つの周波数を様々に分周して作っ ていた。このように節約して作ったシステムをス ピードアップさせる場合に、コンピュータのすべ ての部分の周波数を変化させると、周波数が厳格 に規定されているほかの部品を混乱させてしまう ようである。このため、IBM がパーソナルコン ピュータの基本構想を再考して、「アドバンステク ノロジー」(AT)と呼ばれるアプローチを提案する と同時に、オシレータは完全に設計しなおされた。 より進んだ AT の設計では、システムクロック は、タイマとオシレータの束縛から解放された。

は、タイマとオシレータの束縛から解放された。 ATやATアーキテクチャをベースにした後続のコンピュータ(つまりほとんどのパーソナルコンピュータ)では、使用する水晶発振器は1個から3個に増えている。このうちの1つは、バスとマイクロプロセッサと関連回路を同期させるシステムクロックの発信源として使用される。もう1つは14.31818MHzで動作しており、PCとの互換性をとるために、タイマ/カウンタチップと14.31818MHzのバス信号に対する入力を供給す る。3つめのオシレータは、コンピュータの電源がオフにされたときでもバッテリ電源で駆動する、CMOS 時計を制御している。

オリジナルの AT のオシレータは、8284A タイ マチップと 14.31818MHz の水晶をベースにして いる点で PC とほとんど同じだった。オシレータ の出力は直接バスに送信される。最初の PC に対 して下位互換性を維持するため、ほかの出力は 1.19MHz に分周されてタイマ/カウンタ回路に 供給されている。オリジナルの AT には、システ ムクロック信号を発生させるために、特別な回路 部品が専用に搭載されていた。「82284」システ ムクロックジェネレータチップである。マイクロ プロセッサの動作周波数は、このチップに接続さ れた水晶をベースにしていた。マイクロプロセッ サ、バス、関連回路の速度を制御するクロックを生 成するために、82284は水晶の周波数を半分に分 周している。オリジナルのATは、12MHzの水 晶を分周した 6MHz で動作し、その後の AT は、 16MHz の水晶を分周して 8MHz のクロックで動 作していたわけだ。

82284 オシレータが使用する水晶を取り換えると、マイクロプロセッサの速度が変化する。この変更は、拡張バスの動作速度にも影響を与えるだろう。オリジナルの AT の設計では、バスクロックの周波数はマイクロプロセッサクロックと同期していたので、バスとマイクロプロセッサは完全に同期して動作していた。しかし、設計者がマイクロプロセッサを高速で走らせるようになると、バスはその速度についていくことができなくなった。このため、ISA 拡張バスを採用している現在のパーソナルコンピュータのほとんどが、マイクロプロセッサクロックと拡張バスの間に周波数分周回路を置いている。

拡張バスのクロックは、マイクロプロセッサクロックを直接の源としているため、2つのクロックは完全に同調してバスの同期動作を行っている。しかしバススピードは十分低い周波数に保たれているので、ほとんどの拡張ボードは問題ない。ほとんどの拡張ボードは8MHzに適応するように設計されているため、大抵のISAシステムは、8MHzに最も近いマイクロプロセッサクロックの約数で

バスを走らせるように工夫している。EISA バス 設計でも同様に、名目上は 8MHz のバス速度が指 定されている。

IBMは、PS/2シリーズのオシレータ設計を一新したが、前のシステムとの互換性の維持にも大いに努めている。最初の PS/2 のときから、新しく搭載された機能にまざって、システムのオシレータやクロックと共に、マザーボード上の多くの周辺回路も ASIC に組み込まれた。

たとえば、最初のISA PS/2のモデル25およ び30は、それぞれ「システムサポートゲートアレ イ」と「I/O サポートゲートアレイ」と呼ばれてい る2個の VLSI チップに、タイマとオシレータと クロックの各機能を入れている。前者の回路はシ ステムクロックを生成し、48MHzの外部オシレー タの出力で発振を開始する。システムクロックと して使用する8MHzの周波数を作るために、シス テムサポートゲートアレイはこの周波数 (外部オ シレータの出力)を6分周している。システムメ モリのリフレッシュ機能は、以前のシステムでは システムタイマのチャネルを使う必要があったが、 PS/2 では、これもシステムサポートゲートアレ イが制御している。これらの機能に加えて、シス テムサポートゲートアレイは、システムバスのコ マンドを受け取る機能ブロックと、各種デバイス (マイクロプロセッサ、コプロセッサ、DMA コン トローラなど)も制御する。

I/O サポートゲートアレイは、シリアルポートとパラレルポート、フロッピーとハードディスクのコントローラ、ビデオシステム、そしてリアルタイムクロックを制御している。ただし、これらの機能に対するすべての回路が含まれているわけではない。また、I/O サポートゲートアレイは、システムタイマが使用する 1.19MHz の信号も発生する。

現在のパーソナルコンピュータにおけるクロックとオシレータ設計の方向性は、Chips and Tech nology の「82C836」(「SCATsx」とも呼ばれる)の中に、その具体的な姿を見ることができる。このワンチップの VLSI デバイスは、AT スタイルのコンピュータを、386SX を使って構築する際に必要になるマザーボードロジックの大部分を、ひ

とつにまとめたものである。82C836 は、水晶で制御される1個のオシレータ信号(通常は32、40、50MHz)に適応しており、システムマイクロプロセッサ、拡張バス、DMAシステムにそれぞれ独立した出力クロック信号を供給する。

また82C836は、別の水晶やオシレータから発 振される 14.31818MHz の I/O クロックも供給し ている。82C836 はマイクロプロセッサクロックを 生成するが、これは入力クロックとまったく同じ か、その2分の1、4分の1、8分の1のいずれか である。バスクロックは入力周波数の4分の1、5 分の1、6分の1のいずれかにセットすることがで き、DMA クロックはバススピードかその2分の 1にセットすることができる。要するに、82C836 のようなチップセットを使えば、パーソナルコン ピュータの設計者は、1つのオシレータ周波数を 供給するだけで、それ以上の処理や配慮をしなく ても、必要なクロック信号をすべて自動的に発生 できるわけである。しかしそれでも、特殊なシス テムの要求仕様に合わせて、バスや DMA の速度 を何種類かの中から選択する自由が与えられてい ることには変わりない。

タイマ

パーソナルコンピュータ内部のクロックやオシレータによって発生する信号は、内部で使用されることしか想定されていない。それらは、コンピュータ内部の家事のような煩雑な仕事、つまり、様々な回路部品の動作を規定するために使用されるのである。システムタイマは、もっと多様な機能に使用される。クロックやオシレータの周波数は、ハードウェア設計の目的によって決定されるが、パーソナルコンピュータのタイマは、これらとは違ってプログラム可能なため、そこから出力される周波数は特定のアプリケーションの要求に適合するように変更できる。

オリジナルの PC のタイマ信号は、「8253」タ

イマ/カウンタ集積回路チップを使ったシステムクロックから発信されていた。8253 は、実際には1個のチップの中に3個の16 ビットタイマを入れたもので、いくつかの重要な信号を、システムクロックを基にして生成している。このチップの出力の1つは、パーソナルコンピュータ内部の時刻を制御し、もう1つは、コンピュータのメモリリフレッシュ回路を制御し、残りの1つはスピーカ用の音声信号を発生する。

8253 タイマ/カウンタの働きは、パルスを1つ受け取るたびに、内部レジスタに保持されている値を1ずつ減らすことで、受け取ったクロックパルスの数をカウントすることである。PCシリーズのコンピュータでは、8253 タイマ/カウンタが実際カウントできる信号はシステムクロックの約数であり、4 で割ると約1.19MHzになる。

8253は、6つの異なるモードのいずれかで動作 するようにセットアップできる(PCのI/Oポー トを使用)。このうち2つのモードは、スピーカの チャネルにのみ使用できる。最も単純なモードで あるモード2では、8253は周波数の分周やレート の発生を行う。8253のレジスタに数を与えると、 8253 はその数までカウントする。カウントがその 数に達すると8253はパルスを出力し、もう一度最 初からカウントしなおす。8253のレジスタに "2" をロードすると、入力されたパルスの2分の1の パルスを送り出す。1,000をロードした場合、出 力は入力の1,000分の1である。このモードでは、 8253 チップは、ユーザーが定義したいかなる範囲 の間隔でも、割り込みを発生することができる。16 ビットのレジスタにロードできる最大値は216か 65,536 である。したがって、8253 がカウントでき る単一の最長間隔は約 0.55 秒、つまり、1.19MHz の入力信号を65.536で割ったものである。

PCの8253タイマ/カウンタの6つのモードとその機能とプログラミングを表8-1に示す。

表 8-1 8253 タイマ/カウンタチップの操作モード

モード	操作
0ーカウント終了割り込み	タイマは値をロードされると、その値から 0 まで、1 クロッ クパルスごとに 1 ずつカウンタを減らしていく。
1-ハードウェア再トリガ可能ワンショット	トリガパルスによってタイマ出力はローになる。カウントが 0に達すると出力はハイになり、リセットされるまでハイを 維持する。このプロセスはトリガされるたびに繰り返され る。最初のサイクルの前にチップに制御ワードと初期カウ ントを書き込むことによって、パルス長がセットされる。
2-レート発生	タイマにロードされた初期カウントの値で、入力信号を分 周する。
3-矩形波	タイマにロードされた値と同じ周期 (クロックパルス単位) で、連続した矩形波を発生する。
4-ソフトウェア再トリガ可能ストローブ	タイマは、タイマにロードされたクロックサイクルの数を減らし、0 になったらパルスを出力する。ソフトウェアによって次のサイクルの開始を指示する。
5-ハードウェア再トリガ可能ストローブ	タイマは、タイマにロードされたクロックサイクルの数を 減らし、0になったらパルスを出力する。ハードウェアが発 生したパルスによって次のサイクルの開始が指示される。

オリジナルの PC では、時刻信号を発生させる ために、8253 タイマ/カウンタを可能な限りで最 も長いカウント値に設定し、毎秒 18.2 回の割合で パルスを発生させている。このパルスによって時 刻割り込みが発生し、PC側はこのパルスをカウ ントすることで現在の時間を知る。プログラムは、 定期的にコンピュータが何をすべきか調べる必要 があるが(たとえば、離れた場所にあるコンピュー タに電話を掛ける時間かどうかの確認など)、そ の際に、これらの割り込みを利用することもでき る。このチャネルをプログラミングしなおすこと によって、システムが報告する時刻に、おもしろ い効果を起こせることを記憶しておいてほしい。 この再プログラミングによって、システムが告知 する時間を、音を立てて過ぎ去るほど高速に経過 させることも可能なのだ。

8253 のスピーカ部分は、同様の方法で動作するが、スピーカを駆動し、音を鳴らすために使用される波形を発生するのは、この部分だけである。スピーカの音を変えるために、プログラムからこの部分の設定を変更することができる。さらにプログラムは、メモリコントローラを駆動するチャネルも修正することができるが、その場合はコン

ピュータが暴走する可能性がある。

ATのタイマ/カウンタは、チップをベースにしている点を除けば、初期の IBM コンピュータと同様である。ATでは、タイマ/カウンタは3つの出力を供給している。1つ目は時刻信号と割り込みを発生させる毎秒 18.2 のパルスの出力。2つ目はメモリリフレッシュサイクルのトリがを供給する出力で、ATの場合は15ミリ秒周期で信号を発生している。そして3つ目はスピーカを駆動する出力である。これらの動作を制御する方法は、これに関連する機能の制御と同じで、同一のI/Oポートで行われる。

PS/2 シリーズでは、タイマは独立した回路部品である 8253 (以前の IBM PC や XT と同じ) として残っており、タイマは同じコマンドによって同じポートを通してアクセスおよび制御を行える。ただし、新しい IBM の設計では、タイマの3つの出力の割り当てに違いがある。出力の1つが、システムタイマとして使用される毎秒 18.2 のパルスを発生し、もう1つがスピーカを制御することは、以前と同じである。残りのチャネルは、PC や XTでは DMA の動作に使用されていたが、モデル 25と 30 では、診断プログラムだけに使用されるよ

うに変わり、出力は未接続である。マイクロチャ ネルの PS/2 モデルでは、DMA 転送のための機 能はシステムサポートゲートアレイに統合されて いる。オシレータおよびタイミング機能は VLSI チップに統合されているが、回路の機能は、前の モデルのタイマと互換性を維持している。ただし、 不慮の事態に対する防護機能を持たせるために、 システムタイマ機能のいくつかが修正された。モ デル 25 や 30 と同様に、システムタイマは DMA の任務から開放され、この雑用はゲートアレイで 処理されている。タイマチャネルと、名目上この 機能に割り当てられている I/O ポートアドレス 041h は、マイクロチャネル PS/2 では確定され ていない。そのかわりに3つめのタイマチャネル に "ウォッチドック(番犬)"機能が割り当てられ、 マイクロチャネル拡張バスを監視している。

このタイマチャネルは、毎秒 18.2 回の時刻割り込みを監視している。タイマチャネルは、予定どおりに到着しない時刻割り込みの数をカウントする。そして、遅れた割り込みの総数が危険値に達した場合には、システムにエラーを通知する。プログラムが失敗してシステム割り込みの正しい動作を妨害すると、このウォッチドックがエラーを通知し、訂正処理が実行される。

シングルユーザー、シングルタスクシステムでは、このウォッチドック機能に価値があるかどうかは疑わしい。割り込みが失敗すると、実行中のプログラムもコンピュータもクラッシュしてしまうからだ。しかしながら、マルチタスクシステムでは、このウォッチドック機能によって、実行中のアプリケーションをシステムクラッシュの影響から守るチャンスを与えられる。

表 8-2 8253 タイマのレジスタと制御

レジスタ1/0 オ	ペートアドレス	機能			
040h		タイマ 0 カウ	タイマ () カウント		
041h		タイマ1カウ	タイマ 1 カウント		
042h		タイマ2カウ	タイマ 2 カウント		
043h		8253 制御レジ	8253 制御レジスタ		
		ビットの	: 0=16 ビットバイナリカウンタ		
		1=2 進化 10 進数 (BCD) カウンタ (4 桁)			
ビット1~3-	-バイナリ形式のモー	-ド選択			
ビット3	ビット2	ビット1	モード		
0	0	0	0		
0	0	1	1		
X	1	0	2		
X	1	1	3		
1	0	0	4		
1	0	1	5		
ビット4、5―	リード/ロード				
ビット5	4ビット	機能	Managar 12 2 A		
0	0	カウンタラッ・	カウンタラッチ操作		
0	1	リード/ロー	リード/ロードの最下位バイトのみ		
1	0	リード/ロー	リード/ロードの最上位バイトのみ		
1	1	最初はリード/ロードの最下位バイト。続いて最上位バイト			

ビット 6、7―セレクトカウンタ			
ビットフ	ビット6	機能	
0	0	カウンタ 0 選択	
0	1	カウンタ1選択	
1	0	カウンタ2選択	
1	1	違法インストラクション	

ウォッチドック機能は無効にすることも可能である。タイマを制御する I/O ポートによって調整されるそのタイミング値は、表 8-2 に示すとおりである。

市販のチップセットをベースにした最近のパー ソナルコンピュータは、ATの「8254-2」タイマ チップの機能を、チップセットの内部に単純に複 製している。これらのコンピュータの時刻タイマ およびスピーカタイマは、ATに搭載されている ものとまったく同様にプログラム可能である。多 くのシステムでは、システムメモリをリフレッシュ する間隔の決定を、3番目のタイマチャネルを使 用するという従来どおりの方法で行っている。プ ログラムが及ばない範囲の回路にメモリリフレッ シュ機能を任せることによって、予期しない損害 を妨ごうとしているシステムもわずかにある。し かし、タイマをいじくり回そうという目的がない 限り(つまり、自分自身でハードウェアレベルのプ ログラミングを行うつもりがない限り)、ほかの設 計の中からわざわざこの設計を選ぶ必要はない。

リアルタイムクロック

オリジナルの PC で最も煩わしい特徴は、コンピュータにスイッチを入れる度に時刻と日付を訊いてくるという悪しき習慣だろう。これに対するお決まりの返事は、デフォルトの値をロードするために、Enter キーを2回たたくことである。システムはこの指示に従順に従って、現在の日時を1980年1月1日の真夜中0時とみなし、まるで新年の東の間をあくせく働いて過ごしたかのように、全ファイルにこの日時を刻み込む。

AT や最近のコンピュータはすべて、サポート回路中にリアルタイムクロックを組み入れることに

よって、この問題を回避している。IBM は、リアルタイムクロックとして「MC146818」チップという特殊なクロック回路を使用している。MC146818はローパワーの CMOS 回路をベースにして、パーソナルコンピュータの電源のオンオフに関係なく、規則的に動作するように設計されたものだ。電源オフ時の電力は、システム内部に準備されているバッテリによって供給される。

MC146818 は、32.768KHz で動作する水晶発振 器のパルスを数えることによって時間を測定する。 したがって、これはクオーツ時計と同じくらい正 確なはずである (MC146818 はほ、ほかの周波数 のオシレータにも対応できる)。しかし互換機メー カーは、オシレータを適切に調整しようとはしな いので、多くの互換機の伝える時間は、子供があ てずっぽうに言う時間と同じぐらい不正確なもの である。ほとんどの場合、メーカー(あるいはねじ 回しを持っている人なら誰でも)は、クオーツ水晶 に直列につながれた調整器 (調整可能なキャパシ タ) によって、オシレータの共振周波数を変更す ることができる。調整器をひねると、リアルタイ ムクロックを実際の時間に近づけることができる (コンピュータの中心部のクロック水晶の近くに見 つかる、溝のあるシャフトが付いた短いシリンダ が調整器である。調整器は通常、MHz帯ではな 〈 KHz 帯でのみ使用される部品である)。

リアルタイムクロックは、アラーム機能も内蔵している。MC146818は、アラームにセットされた時刻になったら割り込みを発生するようにプログラムすることができる。アラームのセットは、MC146818のレジスタに適切な時間の値をロードすることによって行われる。

MC146818 はリアルタイムクロックのほかに、

システム構成の情報を記憶するために使用する CMOS メモリを内部に持っている。オリジナルの IBM 設計では、この目的に、MC146818 内部の 64 バイトの記憶装置を使用した。このうち 10 バイトは、クロックとアラームデータを記憶し、残りはインストールされたディスクの数やタイプ、メモリ容量、そのほかのシステムオプションなどのセットアップデータを記録するために確保されている。互換機やマイクロチャネルコンピュータでは、より広範な種類のオプションが記憶できるように、CMOS メモリの容量が増やされている。

多くのチップセットは、内部回路で MC146818 をエミュレートしている。さらに、バッテリを内蔵する特殊なリアルタイムクロックモジュール (MC146818 のエミュレートも同時に行う)も存在する。

MC146818 の CMOS メモリや、MC146818 を エミュレートしているチップセットは、ホストコ ンピュータのマイクロプロセッサから直接アクセ スすることはできない。これらは I/O ポートを 通してアクセスされるようになっている。CMOS に対して読み出しや書き込みを行う場合は、どの アドレスをアクセスすべきかを最初に指示する必 要がある。これを行う場合は、"OUT"インストラ クションを使って、アクセスしたい CMOS のアド レスの値を、I/O のポート 070h に書き込む。そ のアドレスを読み出しするためには、I/Oポート 071h を "IN" インストラクションで読み出し、そ のアドレスに格納された値は、マイクロプロセッ サの AL レジスタに戻される。最初の OUT コマ ンドで指示したアドレスに書き込みを行う場合は、 もう1回OUTインストラクションを使用して、 書き込みたいデータを I/O ポート 071h に書き込 む。これらのコマンドによって、ユーザー(正確に はプログラム) はリアルタイムクロックを読んだ り、アラームをセットしたり、セットアップデー 夕を修正したりできる。セットアップデータを不 用意に変更すると、パーソナルコンピュータが混 乱してしまう可能性もあるため、CMOSメモリに 手を加えるときは注意が必要である。

8.3 割り込みコントローラ

Intelのマイクロプロセッサは、ソフトウェアとハードウェアの2種類の割り込みを認識する。ソフトウェア割り込みは、マイクロプロセッサを制御しているプログラムの特殊なインストラクションにすぎない。足したり引いたりといったあらゆる演算の代わりに、ソフトウェア割り込みによって、プログラムの実行がメモリの別のセクションのコードに一時的に移行する。

ハードウェア割り込みでも生じる結果は同じだが、制御は通常のデータの流れとは別の、特殊なハードウェア信号によって行われる。唯一の問題は、マイクロプロセッサが認識できる割り込みの数が、それほど多くない点だ。用意されている割り込み信号線は2本だけである。このうちの1本は「マスク不能割り込み」という特殊な場合に使用

される線で、もう1本の線はすべての割り込みに よって共用される。

IBMパーソナルコンピュータのアーキテクチャでは、様々なレベルの割り込みが考慮されている。それらの割り込みには優先順位があり、重要度の高い順に優先順位が高くなっている。

PCシリーズのコンピュータのハードウェア割り込みを構成するために、IBMは、「8259」割り込みコントローラを採用した。このチップは0番から7番まで番号がつけられた8個の割り込み信号を処理する。これらの信号は、番号が増えるに従って優先順位が低くなる。表8-3は、PC、XT、ポータブルPC、PC jr の各コンピュータの、割り込みの割り当て状況である。

表 8-3 PC、XT、ポータブル PC の割り込み

割り込み番号	機能	been trained assessment there are a secret
NMI	パリティエラー	
0	システムタイマ	
1	キーボード	
2	EGA ディスプレイ	
	Da v v = L	
	3278/79 アダプタ	
3	COM2	
	PC ネットワーク (代替)	
	3278/79 アダプタ (代替)	
	SDLC コミュニケーション	
	BSC コミュニケーション	
	クラスタアダプタ	
4	COM1	
	SDLC コミュニケーション	
	BSC コミュニケーション	
	音声コミュニケーションアダプタ	
	(優先)	
5	ハードディスク	
6	フロッピーディスク	
7	プリンタ	
	クラスタアダプタ (代替)	

8個のハードウェア割り込み(このうち拡張バス上で使用可能なのは6個のみ)は、複雑なシステムにとっては不十分であることがすぐに判明したため、IBM はATにおいて、ハードウェア割り込みの数をほぼ2倍に増やした。これらの割り込みの配列、割り当て、相互作用は、PCの設計からはかなり変更されている。

割り込み数の倍増は、1個の割り込みコントローラチップにもう1個のチップ(別の8259A)をカスケード接続して、これをシステムのアーキテクチャに加えることによって実現されている。追加されたチップは、もう1個のチップを介してマイクロプロセッサに接続されている。PCまたはXTでは、マイクロプロセッサに最も近いチップが、本質的には1個の割込みコントローラとして動作する。ただし、その **割り込み 2″の入力は、PC のバスには接続されず、そのかわりにもう一方の8259A

チップの出力を受け取る。

"割り込み2"の入力につながっていたバスの割り込みチャネルは、ATでは、2番目のチップの"割り込み9"に接続されている。したがって、この割り込み信号は、実行されるまでに2つのコントローラの間を通過しなければならない。このようにATの"割り込み9"は新しい番号が設定されていても、PCの"割り込み2"とまったく同様に、同じ制御ラインで決定される同じ優先順位で機能する。

8259A コントローラが個々の割り込みに与える 優先順位は、入力の番号が小さいほうが優先順位 が高いということに変わりはないが、2つのコント ローラをカスケードに配列すると、普通とは異な る優先順位になる。まず、最も優先順位の高い信 号は、1個目のチップの"割り込み 0"と"1"に与え られる。ただし、2番目のチップが新たに"割り込 み2"にカスケード接続されているため、この接続 を経由する大きい番号の割り込みが1個目のチップの"0"、"1"に続く優先順位を得る。実際には、"割り込み9"(これは実際には、2番目の8259Aコントローラの"割り込み1"の入力であることを思い出してほしい)が、拡張バスで使用可能なすべての割り込みの中で、最も高い優先順位を得る。2番目のコントローラに接続されている残りの割り込みは、"割り込み15"まで昇順に高い優先順位を得る。最後に、1番目のチップに残っている"割

り込み 3'' から "7'' が、順にその次の優先順位を与 えられる。AT の割り込みの割り当てを表 8-4 に 示す。

使用可能な割り込みの数が 15 個 (特別なマスク 不能割り込みを入れると 16 個) では不十分な場合 のみ、AT バスでは割り込みを共有するための規 定が設けられている。しかし、IBM は割り込みの 共有機能を搭載しておらず、これについてはアド イン装置の設計者にまかせられている。

表 8-4 AT および AT 互換機の割り込み

割り込み番号	機能	
NMI	パリティエラー	
0	システムタイマ	
1	キーボード	
2	2番目の割り込みコントローラ用のカスケード入力	
3	COM2	
	PC ネットワーク (代替)	
	SDLC コミュニケーション	
	BSCコミュニケーション	
4	COM1	
	SDLC コミュニケーション	
	BSCのコミュニケーション	
5	LPT2	
6	ディスクコントローラ	
	ハードディスクドライブとフロッピーディスクドライブ	
7	LPT1	
	データ取得アダプタ	
	汎用インターフェイスバスアダプタ	
	音声コミュニケーションアダプタ (優先)	
8	リアルタイムクロック割り込み	
9	割り込み 0Ah にリダイレクトされたソフトウェア	
	PC ネットワーク	
10	予約	
11	予約	
12	予約	
13	コプロセッサ	
14	ハードディスクコントローラ	
15	予約	

割り込みを共有するには、割り込みの共有が可能になるようにデバイスのハードウェアを設計し、割り込みの結果として実行されるソフトウェアのルーチンのコードを書くだけではいけない。競合している可能性があれば、それらの割り込みを分類し、割り込みコールが衝突するのを調停し、割り込みの処理が終わったら、まとめてすべてを元にもどすプログラムコードを書く必要がある。このプログラムは、アセンブリ言語で書くと最もうまくいくので、自信のないプログラマができる仕事ではない。

IBM の最初の ISA バス PS/2 コンピュータは、全8個の割り込みしかサポートしない PC や XT の設計に戻った。ただし、IBM はこのコンピュータで、割り込みの共有を可能にしただけでなく、実際に活用もしている。 "割り込み 1"は、PC スタイルのコンピュータではキーボードに単独で割り当てられてられているが、モデル 25 と 30 では、キーボード、ポインティングデバイス (マウス)、時計の 3 つで共用されている。その後の ISA バス PS/2 は、全部の AT の割り込みをサポートした。

真の PS/2 の進歩は、マイクロチャネルマシンとレベルセンシティブ割り込みによって実現した。レベルセンシティブ割り込みは、それより以前の IBM パーソナルコンピュータで使用されていた "エッジトリガ割り込み"とは動作の仕組みが異なり、互換性もないが、割り込みを制御する回路はよく知られたものである。マイクロチャネル PS/2 は 2 個の 8259A 割り込みコントローラを使用しており、これはほかの IBM のパーソナルコンピュータとまったく同じチップで、通常の AT とまったく同じように配列されている。つまり、2番目の

8259Aは、1番目のチップの "割り込みチャネル2番"にカスケード接続されているのだ。AT設計とマイクロチャネル設計は、共に割り込みの優先順位は同じである。

8259A チップは、エッジトリガ操作とレベルセンシティブ操作の両方が可能である。マイクロチャネルコンピュータでは、レベルセンシティブモードでチップが初期化される。PS/2では、8059A チップの外部にある回路によって、8059A チップがエッジトリガーモードにセットアップされることを防止している。

ほとんどの EISA マシンを含め、最近のパーソナルコンピュータに使用されているチップセットには、割り込みコントローラ機能が組み入れられている。一般に、チップセットは AT の割り込み構造をエミュレートし、2 つのレベルの割り込みをカスケード接続している。ただし、割り込み構造を編成しなおして、カスケード接続を削除しているチップセットもある。

一般に、この変更では問題はまったく生じない。 問辺装置やプログラムの中には、ATの正確な割り込み構造の存在に依存していて、これらの変更された設計に互換性がないことを顕示するものもあるが、それもわずかなものである。問題のあるデバイスや、ソフトウェアによってアクセスされる割り込みがATの規格に正しく従うように、割り込みを割り当てなおすことによって問題が回避できることも多い。つまり、パーソナルコンピュータの"割り込み 2"か"9"を使用しているときにデバイスに問題があれば、そのデバイスを別の割り込みに割り当てることによって、問題を矯正できる場合が多いのである。

8.4 DMA

システム性能をスピードアップする最適の方法 は、ホストのマイクロプロセッサを家事のような 煩雑な仕事から解放することである。時間を多く 消費する雑用の1つとして、コンピュータ内部で メモリのブロックを転送させる作業がある。たと えば、ハードディスク (データが記憶されている ところ) から、コントローラを通し、メインメモ リ (マイクロプロセッサがそのデータを使用する ことができるところ) へ、まとまったデータを転送させるといったようなことである。メモリ転送の作業は、ダイレクトメモリアクセスコントローラ (DMA コントローラ) と呼ばれる特殊なデバイスで扱われる。

この専用チップには、転送されるデータの出発点の位置と、転送先のアドレスと、転送するバイト数だけ与えればよい。DMAコントローラがマイクロプロセッサからその情報を受け取ると、コマンドを使ってすべての退屈な作業を代行する。すべてのIBMのコンピュータで使用されているDMAコントローラは、完全にプログラム可能で、一連のI/Oレジスタによって操作される。

DMAの働きを使用すると、I/Oデバイスとメモリ間でデータを転送することができる。理論的には、DMAの働きによって、メモリ内部でのデータ転送も行えるはずであるが、この操作モードは、IBMの基本的なシステム設計ではサポートされていない。

IBM は、PC で初めて「8237A-5」DMA コントローラを採用し、マイクロチャネル PS/2 モデルに至るすべてのパーソナルコンピュータがこれを使用している。チップ名の $^*-5''$ は、5MHzというチップの速度定格を表わしたもので、この速度は PC や XT の唯一のクロック (4.77MHz)にきわめて近い。DMA 制御のもとで1 バイト転送するには、5 サイクルのシステムクロック、つまり合計で1,050 ナノ秒必要である。

8237A-5は、これらのコンピュータに 4 個の DMA チャネルを与えている。これらのチャネルは、メモリ転送のためにそれぞれ独立して使用できる。PC の設計では、このチャネルの 1 つが、システムメモリのリフレッシュ用に使用されている。それ以外の 3 つのチャネルは、I/O バス上で使用することができる。PC と XT の DMA は、1M バイトの範囲にだけアドレスできる。この 1M バイトは、これらのシステムの最大メモリ容量であり、8 ビット PC の拡張バスのアドレッシング範囲でもある。

ほとんどの IBM 用のソフトウェアでは、同時に 使用される DMA チャネルは 1 つだけである。し かし、ハードディスクをフロッピーにバックアッ プするようなまれなケースでは、2つのチャネルが必要になる。このような場合、チャネルが2つあると、ハードディスクからデータを引き出して、即座にデータをバックアップデバイスに書き込むのに都合がよい。事実、多くのフロッピーディスクベースのバックアップシステムが、この目的で同時に2つのDMAチャネルを使用している。

通常はこの操作で問題は発生しないが、8237A チップには欠陥があったため、最初の PC の 10%から 15%では、この機能が正常に動作しない。通常 の場合でチップエラーが現われないのは、一般に は同時に 1 つのチャネルしか使用しないからである(チップのテストでもエラーは発生しない)。

この問題を回避するには、不良の徴候に気づいたらチップを交換するしかない。とはいえ、このチップ交換の作業は容易ではない(不良チップははんだづけされている)。また、エラーが発生する可能性があるのは、少数のバックアッププログラムだけであることを考えれば、あえて難しいチップ交換の処置を行うほどの価値はないといえる。この場合のもっと適当な(そして実行しやすい)対策は、このチップはほかには問題を発生しないのであるから、不良のチップをこのまま使い続け、問題を生じるソフトウェアのほうをあきらめることである。

8237A チップの設計は修正され、不良部分は取り除かれているので、この問題はほかのコンピュータでは起こらない。

AT や、AT アーキテクチャをベースにしたごく 最近のパーソナルコンピュータのほとんどが、PC や XT と同じ DMA チップである 8237A-5 を使 用している。ただし、この DMA チップはもう 1 つチップを追加することによって機能が拡張されている。AT の割り込みコントローラのように、DMA コントローラチップの場合も、1 個目のチップのチャネルが 2 個目のチップをカスケード接続するのに使用されている。1 チップあたりチャネルは 4 個あり、このうちの 1 個はカスケード接続に使用されているので、システムに対する DMA の正味のチャネル数は 7 個である。これらのチャネルのひとつひとつは、80286 マイクロプロセッサの 16M バイトの全範囲にアドレスできる。こ

の範囲は、ATの拡張バスのアドレッシング範囲でもある。これらの DMA チャネルのうち、4個は8ビット幅で、PC や XT の DMA チャネルとまったく同様に動作する。2個目のチップのこれ以外の3個のチャネルは、フル16ビット幅である。

ATでは、それぞれのDMAコントローラは、その速度定格内に収まるように、マイクロプロセッサの半分の速度で動作する。つまり8237A-5は、6MHzのATではは3MHzで、8MHzのATでは4MHzで動作するわけである。さらに、DMAのサイクルはそれぞれ5クロック必要なので、6MHzのコンピュータではそれぞれ1,666ナノ秒ずつ、8MHzのコンピュータでは1,250ナノ秒ずつかかることになる。8ビットモードでは、8MHzのATでも、実際のDMA転送はPCよりもATのほうが遅いことに注意しなければならない。ただし、16ビットモードでは、ATのほうがバス幅が広く、コントローラによって転送するデータが多くなるため、ATのDMA転送のほうが速い。

ATのDMA転送は、PCより速いがけっして十分とはいえない。実際、IBMが決定した速度は、ハードディスクのアクセスには不適当である。その結果、ATスタイルのシステムはハードディスクアクセスに対するDMA制御をあきらめ、代わりにI/O転送を使用している。つまり、マイクロプロセッサ自身がハードディスク転送を管理するのである。当然これにより、ハードディスクのバックアップ時に、2つのDMAチャネルを同時使用することによる問題は発生しない。

マイクロチャネルアーキテクチャではない最初の PS/2 は、PC と XT と同じ 8 ビットの DMA 設計を採用した。しかしこのコンピュータでは、8237A DMA チップは 4MHz で動作する。さらに、それぞれの DMA のサイクルは、PC や XT や AT のシステムで使用されている 5 サイクルではなく、6 サイクルのクロックを必要とする。したがって、DMA 転送の各サイクルは約1,500 ナノ 秒必要となる。ISA バスの新しい PS/2 は、AT

の設計を範としている。

IBM のマイクロチャネルアーキテクチャでは、DMA コントローラはシステムボード上の1個のVLSI チップに組み入れられている。その設計は、機能的には AT の DMA コントローラと互換性があり、2個の8237A チップの働きをエミュレートすることができる。ただし、マイクロチャネルのコンピュータでは、余分に DMA チャネルが使用できるようになっており、その制御用に拡張コマンドセットを追加している。

マイクロチャネルのコンピュータでは、DMAのタイミングは基本的にはシステムクロックから独立している。一般に DMAの各サイクルは、システムボードメモリに対しては 600 ナノ秒、マイクロチャネル上の拡張ボードに対しては 500 ナノ秒になる。このほか、全体的な転送のセットアップに数百ナノ秒のオーバーヘッドが加わる(最大64K サイクルだろう)。転送は 8 ビットか 16 ビット単位で行われる。これらを総合すると、マイクロチャネルの DMA 転送速度は AT の 2 倍以上になるので、新しいコンピュータは、AT よりも性能の点で相当の強みを持つことになる。

最初のマイクロチャネル設計では、DMAのアドレス可能範囲は24本のアドレスラインに制限されたため、結果としてDMAの転送範囲は16MバイトのRAMに制限された。PS/2のモデル90と95から、マイクロチャネルDMAは、フル32ビットのアドレッシングが可能になっている。

最近のパーソナルコンピュータは、チップセット内部にほかのシステムサポート回路と共に、DMAコントローラを統合している。これらは、カスケード接続された2個の8237ADMAコントローラをエミュレートしている。一般に、ほとんどのISAバスシステムのDMAシステムは、バス自身によって、アドレッシング範囲を16Mバイトに制限されている。EISAコンピュータでは、フル32ビットのアドレッシングが可能である。

8.5 このほかのサポート機能

あらゆるパーソナルコンピュータには、不可欠 なサポートチップが1つある。キーボードデコー ダだ。この特定用途を持ったチップは、ほとんどの パーソナルコンピュータに搭載されている Intel の 「8042」(あるいはその相当品) や、8042 をエミュ レートしているチップセットの一部として、キー ボードとマザーボードを結んでいる。キーボード デコーダの基本機能は、キーボードが送信するシ リアルデータを、パーソナルコンピュータが使用 できるパラレル形式に変換することである。キー ボードデコーダは、キーボードからキャラクタを 受け取るたびに割り込みを発生して、パーソナル コンピュータにキャラクタが入力されたことを知 らせる。また、キーボードデコーダは(パリティ チェックを行って) キャラクタが正しく受け取られ たかどうかを確認した上で、それぞれのキャラク タのスキャンコードを変換する。到着したキャラ クタにパリティエラーが生じている場合は、キー ボードデコーダは、自動的にキーボードに対して、 そのキャラクタを再転送するように要求する。

シリアルのデータストリームでキーボードデコーダに送られる各キャラクタは、スタートビット、8ビットのデータ、パリティビット、ストップビットの計11ビットで構成される。これらビットは、キーボード内部で生成されるクロック信号に同期している。ATや、ごく最近のキーボードでは、キーボード内部のマイクロプロセッサをプログラムするために、キーボードデコーダからキーボードにデータを送れるようになっている(キーボードとスキャンコードは、第11章「入力デバイス」でより詳細に述べる)。

チップセットには、これ以外にも様々な機能が含まれていることが多く、おかげでパーソナルコンピュータ設計者の仕事は楽になっている。チップセットには、フロントパネルのインジケータライトの制御から、フロッピーディスクコントローラまで、すべての機能を組み込むことができる。実際には、どの機能をチップセットに内蔵するかは、

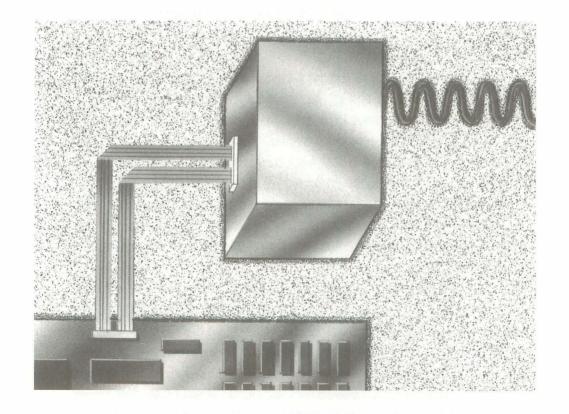
チップセットメーカーの裁量である。多くの機能を追加すると、チップセットは複雑になり、コストも上がってしまうが、同時に、1つでも多くの機能をチップセットに詰め込めば、そのメーカーは、マーケティングで有利な立場に立てる。最近のチップセットメーカーは、ほとんどが、フロッピーディスク制御回路、I/Oポート(パラレル、シリアル、マウス、キーボード、ゲームポート)、エンベデッドコントローラ(IDE)ハードディスク用の端子を含んだ、フル装備の製品を提供している。中には、チップセットにビデオ(VGA)回路を組み入れているチップセットメーカーもある。

パーソナルコンピュータを設計するよりも購入 しようと考えている人にとっては、今日のシング ルチップ PC の高度な集積化については、これと いった利点を見出すことはないだろう。理論的に は、1個しかチップを使用しないパーソナルコン ピュータは、チップを3個使ったものより信頼性 が高いといえるが、その信頼性の違いは、最終的 にはシステムの寿命の違いということになるだろ う。そしてその寿命の違いというのも、システム が壊れるときが、あなたの孫のそのまた孫の世代 か、それとも、さらにその子供達の世代かといった 程度のものだ。要するに、どちらにしても寿命は 長く、信頼性は十分高いわけである。新しいパー ソナルコンピュータを購入する際に、サポート回 路について考慮すべき唯一重要な点は、I/Oと割 り込みがほかの拡張製品と衝突する場合に、これ を回避するためにマザーボード上のポート、ビデ オ、フロッピーディスク制御回路を無効にできる かどうかということである(未使用の IDE ポート は、何も接続されていない拡張コネクタとして扱 われるため、IDE ポートは無効にできなくてもか まわない)。サポートチップに対するこれ以外の 論議は、同じ目的地までの異なる道順を説明して いるようなものである。

システムは、サポート回路が適切な組み合せに なっていなければ、単にパーソナルコンピュータ として動作しないだけである。逆に、サポート回 路が適切であれば、思い通りの、つまり、使用し たいプログラムがトラブルなく走るパーソナルコンピュータになるのだ。

第9章

電源



今日実際に使用されているコンピュータは、すべて電子的に動作している。動き回る電子がコンピュータの思考の媒体である。電気パルスは、回路から回路へと移動し、論理チップによって瞬時にオンオフされる。回路は、電気パルスを組み合わせて論理的な判定を下し、別のパルスを送り出して周辺装置を制御する。コンピュータの信号は、電子がモニタのブラウン管の蛍光体に衝突して人間の目に光子が発射されたり、プリンタを駆動させる磁界が生成される時点まで、電子の形をとり続ける。

いうまでもなく、コンピュータを動作させるには電気の発生源も必要である。電力はコンピュータ回路の中で自然発生するわけではなく、外部の発生源から供給しなければならない。 便利なことに、アメリカではほとんどすべての家庭に、電力を供給する配電設備があり、コンピュータもそこから電力を取り出せる。これこそ文明の恩恵だろう。

しかし、今日のコンピュータの半導体回路は繊細で、電力会社から供給される電気は直接 使用することはできない。商用電力は発電所から家庭までの長旅に耐えるだけの強度とスタ ミナを与えられており、半導体回路にとっては強烈過ぎる。パーソナルコンピュータの回路 には、安定した電力が必要で、慎重に制御しながら少しずつ電流を流さなければならない。 商用電力をそのままで与えたら、コンピュータ回路はあっという間に黒焦げになって溶けて しまうだろう。

経済的な理由から、商用電力は交流 (AC) という形で電力会社から家庭に送電される。電力会社が AC を採用しているのは、発電が容易であり、また、低電圧から高電圧 (長距離送電の効率を上げる非常に高い電圧) まで、電圧を簡単に変えることができるからである。この "交流" という名称は、その極性が 1 秒間に数十回も正と負で交互に変わる (アメリカでは60Hz、ヨーロッパでは50Hz、日本では関東50Hz/関西60Hz) ことからきている。

変化する電流にのみ反応する"トランス"を使えば、ACの変化する、あるいは振動するという性質を利用して、電圧(電気の駆動力の大きさ)を上げたり下げたりできる。電力の損失(長距離の送電線を抵抗に逆って電流が流れることによって発生する熱)は電圧に反比例するため、電圧が高いほど効率よく長距離を伝わる。トランスのおかげで、時には数十万ボルトにも及ぶ商用電力の送電に使用される高電圧を、家庭用の安全なレベル(日本では100V)まで下げることができるのである。

AC は、電力会社にとっては好都合だが、コンピュータ回路にとっては忌まわしいものだ。コンピュータ回路は、直流電源から取り出した電気の流れをオンオフしてパルスを作り出しているのである。AC を直接使うようなコンピュータを設計することも不可能ではないが、電圧が反転を繰り返すため設計は複雑になり、目隠しをしてローラーコースターに乗りながらナイフを使う方がまだ簡単なくらいである。このため、コンピュータ(ほとんどの電子機器も)では AC の代わりに直流 (DC) が使用されている。DC は、電池のような一次電源から直接取り出される電力で、一定レベルを保つ(電池の場合、少なくとも消耗しない間は)単一電圧である。さらに、半導体回路にとっては、照明をつけたり掃除機を動かす比較的低い電圧でさえ致命的である。半導体回路の中にある要素は微細な距離で隔てられているが、高電圧は稲妻のようにこのわずかな距離を通り抜けて、その途上でシリコンを焼き焦がしてしまうのである。

家庭のコンセントから取り出した交流電流を、コンピュータが必要とする直流電流に変換する仲介者を電源という。パーソナルコンピュータの電源は、可能な限り純粋で、電池が生成する理想的な直流に可能な限り近い直流を作ろうと努める。電源の大きな使命はレギュレーション、つまり、電圧の変動を抑え、回路に必要な理想電圧にできる限り近い電圧を維持することである。

ラップトップやノートパソコンの場合は話は簡単だ。これらのタイプのコンピュータは、低電圧の DC を供給するバッテリ電源で動作しており、その電力は回路にとって最適な形でバッテリ内部で生成されるからである。とはいえ、純粋なバッテリ電力でもバッテリの充電の度合によって電圧が変動するため、これらのコンピュータでも、内部で電圧のレギュレーションが必要である。さらに、いずれはバッテリを充電しなければならないため、デスクトップコンピュータの電源とまったく同様に電気変換も行わなければならない。

9.1 電源技術

電子機器には、通常、リニア電源とスイッチング電源という2種類の電源が使用されている。リニア電源は、1920年代に初期のラジオが蓄電池から開放された時代にさかのぼる古い技術である。一方、スイッチング電源は、半導体電子回路のスピードと効率が要求されるハイテクに位置するもので、今日のコンピュータ電源市場では支配的な地位を獲得している。これらの2つの電源技術は、電圧のレギュレーションに使用される方法によって区別される。

リニア電源

電力会社から供給される AC から、調整された DC を作るために、最初に使用された設計がリニア電源である。かつては、あらゆる電子機器に使用されていた唯一の電源がリニア電源だったという時代もあったが、スイッチング電源技術が使用できるようになると、リニア電源は"リニア"という呼び名とともにすたれてしまった。リニア電源は、半導体を使用する必要がないにもかかわらず、標準リニア (アナログ) 半導体回路を使用していたからである。

リニア電源では、最初に、電線から流れてきた 生の電気を、トランスによってコンピュータ回路 が要求する電圧よりわずかに高い電圧に下げる。 次に、一方向の電気の流れだけを通して逆方向の 流れをふさぐという方法で、1個から複数個の整 流器 (通常は半導体ダイオード) によって、低電圧 にされた AC が DC に変換される。最後に DC は、 リニアレギュレータ (電源で作られた電圧をコン ピュータ回路が要求するレベルに調節するもの)を 通して送り出される。

ほとんどのリニアレギュレータは、トランスが 作った余分な電圧を熱に変換して吸収する仕組み になっている。これに対して、シャントレギュレー タは、電圧を下げるために余分な電力をショート させて除去するもので、シリーズレギュレータは、 電気の流れに妨害物、つまり抵抗を置いて余分な 電圧をふさぐ。いずれの場合も、レギュレータにはコンピュータ回路に供給される電圧より高い入力電圧が必要であり、その余分な電力は熱に変換される(つまり無駄になる)。リニア電源は、単に無駄にする電力量を変化させてレギュレーションを行っているだけなのだ。

スイッチング電源

これに代わるもう1つの設計方式がスイッチング電源である。スイッチング電源は、リニア電源より複雑さは増すが、効率が高く、リニア電源より低価格でさえある。いろいろな設計方法があるが、典型的なスイッチング電源は、まず、60Hzの商用電力をトライアックと呼ばれる電子部品を使用してオンオフし、もっと高い周波数のパルス(通常の人間の可聴範囲より高い20,000 Hzの帯域)に変換する。

スイッチング電源は、商用電力の周波数を高くすると同時に、デジタル技術の一種であるパルス幅変調を使って電力を調整する。つまり、個々の電力パルスの継続時間を供給先のコンピュータ回路の必要に応じて変えるのである。パルスの幅はスイッチ回路が制御し、パルス幅が狭いほど出力電圧は低くなる。最後に、スイッチされたパルスは、トランスによってコンピュータ回路が要求するレベルまで電圧を落とされ、整流と濾波(フィルタリング)によって完全な DC に変換される。

スイッチング電源は、2つの方法で高い効率と低コストを実現している。まず、スイッチングレギュレーションは、熱に変わる電力が少ないため効率が高い。シャントレギュレータやシリーズレギュレータが電気エネルギーを放散する代わりに、スイッチングレギュレータはごく短い時間だが、電流を完全に止めるのである。加えて、高周波を使用するのでトランスとフィルタ回路を小さく簡易化でき、製造コストが低減する。きわめて実際的なこれらの理由から、今日のコンピュータのほとんどはスイッチング電源を使用している。

9.2 パーソナルコンピュータ用電力の必要条件

現代のコンピュータの論理回路は、ハイとローと称される2つの電圧レベルとしてコード化される、2つの異なる論理状態(真と偽、1と0)に従って、電圧を切り換えることにより動作する。すべての論理回路には、それぞれ独自の電圧規格がある。今日のほとんどのパーソナルコンピュータは、通常「TTL」と略して呼ぶトランジスタートランジスタ論理の要件を基本にして構築されている。

TTL 設計では、"ハイ"は約3.2V以上の電圧をさし、"ロー"は約1.8V以下の電圧をさす。その中間は、論理的には定義されておらず、2つの有意の状態の間のあいまいさをなくすための電気的な保護帯域である。TTL 論理回路には、信号のほかにも、論理判断という動作を行わせるために使用される定電圧の供給も必要である。要するに、この定電圧の供給によって、TTL 論理回路のスイッチを動かす電気的な力が与えられるわけである。TTL 回路は公称5Vで動作する。IBMのすべてのフルサイズのパーソナルコンピュータとPS/2に使用されている電源は、通常20A以上という豊富な容量の安定した5Vの電圧を供給できるように設計されている。

パーソナルコンピュータには、多くの場合 5V 以外の電圧も必要である。ほとんどのディスクドライブ(ハードディスクとフロッピー)のモータは、回転用に通常 12V が必要であり、また、パーソナルコンピュータの中には正負の両電圧の供給を必要とする特殊な回路もある。たとえば、シリアルポートは、アースを基準にして正負の間で電圧を変動させて論理状態を信号に変えている。したがって、少なくとも拡張ボードを使用できるものであれば、いずれのパーソナルコンピュータでも、-5V と-12V の電圧が必要不可欠である。

ラップトップタイプやノートブックタイプのパーソナルコンピュータの場合は、たいがいどの機種でも拡張ボードのスペースがないため、これらの電圧は不要である。たとえば、ノートブックコンピュータ用に設計された新しいタイプのハードディ

スクはほとんど、5V 駆動のモータを使用しており、12V の電圧供給を必要としない。

さらに、ノートパソコン用の最も新しい世代のマイクロプロセッサとサポート回路は、3.3Vの電圧で動作するように設計されている。電圧が高いほど電流の量が増え電力使用量が大きくなるため、ほかの条件がまったく等しければ、これらの低電圧回路は電力消費を抑えることになる。回路の動作電圧が5 Vから3.3 Vに下がったことにより、コンピュータの電力消費は半分になるわけだ(回路の電力使用量は、消費電流の2乗に比例する)。

電圧と定格

デスクトップタイプのパーソナルコンピュータの電源で一番厄介なことは、回路の可能な組み合わせのすべての要求を満たすために、4つの共通電圧をすべて生成しなければならない点だ。実際には、デスクトップコンピュータの電源は、4つの電圧 (+5V, -5V, +12V, -12V) を、それぞれの要求量に応じて異なる電流容量 (アンペア: A) で供給している。一般的にパーソナルコンピュータでは、多くの論理回路があるため、5V 電力の容量が際立って多い (20~25A)。ディスクドライブは 2~3 台なので、それ用の 12V の電力は 5V より少なくてよい (4~5A 程度。ディスクドライブには負の電圧を必要とする部品がわずかにあるが、それらは 1A 以下である)。

ほとんどの電源は、その定格電力について、使用可能な総電力量をワット数で規定、公示している。電源の定格電力は、供給する4つの電圧それぞれと定格電流の積を取り、それを合計したものである(ワット数はボルト数とアンペア数の積に等しい)。IBMのコンピュータの電源は、63.5~325Wで、互換機も同じワット数になっている。最近のほとんどのフルサイズコンピュータの電源は、200~220Wである。

この定格電力は、電源がコンセントから取り出 す電力量と同じではないことに注意しなければな らない。すべての電子回路、特に電源は、「効率」という問題があり、リニア電源はスイッチング電源より効率が悪い。このため、電源はコンピュータ回路に供給するワット数以上の電力が必要で、そうでないと少なくとも最大出力を生成することはできない。ただし、パーソナルコンピュータの電源が定格出力で動作することはまれである。したがって、効率のよいスイッチング電源が消費する電力量は、通常の使用では公称定格以下が一般的である。たとえば、メモリ(仮に 4M バイトとして)と1台のハードディスクドライブに通常必要な量を満たす220Wの電源を持ったパーソナルコンピュータでも、動作中は一般に100W以下の電力しか使用しない。

パーソナルコンピュータ用の電源を選択する場合には、必要な定格はコンピュータに組み込まれたボードや周辺装置によって変わる。システムボードには15~25W、フロッピーディスクドライブには3~20W(新旧のタイプによって異なる)、ハードディスクには5~50W、メモリや多機能拡張ボードには5~10W必要である。パーソナルコンピュータに組み込まれるこれらを始めとした様々な要素の必要電力量を合計しても200Wであり、150Wでもシングルユーザーシステムなら十分まかなえる。

供給電圧

ほとんどの電源は、特定の電灯線電圧ならびに 周波数で動作するように設計されている。米国で は、商用電力は公称 115V、60Hz で供給される。 供給電圧と周波数が米国とは異なる国もあり、た とえば、ヨーロッパなどは 230V、50Hz 規格、日 本では 100V、50/60Hz の規格が普及している。

ほとんどのスイッチング電源はどの周波数でも動作するため、旅行する場合にも心配は無用だ(ただし、出かける前に自分の電源の定格をチェックしておくほうが確実だろう)。リニア電源は、スイッチング電源より周波数の違いに敏感である。リニア電源のトランスは周波数が低いほどリアクタンスも小さくなるため、60Hzのトランスを50Hzで使うと、設計量よりも多くの電力を引き出してしまう。その結果、電源はオーバヒートして障害

を起こしやすく、場合によっては壊れてしまうのである。ほとんどのパーソナルコンピュータのスイッチング電源は、背面パネルにある小さなスイッチで、動作電圧を選択できるようになっている。コンピュータのスイッチを入れる前に、動作電圧スイッチが使用できる電力に対して正しい位置にセットされているか確認する必要がある。

海外を旅行する場合は、電圧を調節するには必ずこの電源スイッチを使用して、安物の電圧変換器を使ってはいけない。この種の変換器は、ほとんどが入力波形の半分をクリップするだけの整流器である。電球を灯すだけならそれでも問題ないが、電子回路には致命的となる場合があり、コンピュータが壊れることもあるため、けっして勧められる方法ではない。

XT モデル 286 以降に発売された IBM のコンピュータと少数の互換機は、普及している電圧と周波数に合わせて自動的に自己調節を行うユニバーサル電源を装備したコンピュータは、スイッチを入れるだけで正しく動作する。一部のユニバーサル電源は、どの供給電圧にも対応できるが、2 つの主要な電圧規格しかサポートしていない電源もあるので注意する必要がある。169.35 V 地域に行く可能性などまずなのなら、この 2 種類の電圧にしか対応できない電源でも、海外で十分に使用できる汎用電源といえよう。

Power-Good 信号

IBMの電源は、コンピュータが動作するのに必要な電圧と電流に加えて、Power-Good という信号を出す。この信号の目的は、電源に関してはすべて良好で、正常に動作できることをコンピュータに知らせることで、この信号がないとコンピュータはシャットダウンする。Power-Good 信号によって、コンピュータが異常電圧(たとえば電圧降下など)で損傷をきたすことがないように防いでいるわけである。電源に完全な障害が発生しているときだけでなく、接続不良や Power-Good 出力の失敗でも、同じようにパーソナルコンピュータの動作が停止する。

9.3 ポータブルコンピュータの電力

ほかのタイプのパーソナルコンピュータ同様、 ラップトップタイプやノートブックタイプのマシ ンにとっても、電気はその動力源である。ただし、 このようなタイプのマシンでは、電力の発生より 消費が重要な要因になる。コンセントに接続しな くてもすむように、ポータブルコンピュータには "バッテリ"という内蔵電源が搭載されている。こ の場合、落雷や電気料金未払いの心配はないが、 重力というもっと面倒な相手が現われる。使用で きる電力はバッテリによって決まるが、重量によっ てそのバッテリのサイズもある程度の値に制限さ れる(この適切な値は、空港のコンコースの長さと 旅行時間に反比例して変わる)。 コンセントから 取り出せる無尽蔵の電力供給と比較すると、1ポ ンドのバッテリが供給する電力量は微々たるもの で、実際、使用可能なエネルギーの総量は約5Wh である。

したがって、ラップトップやノートパソコンの電源では、電圧調整よりも電力管理が最も重要になる。バッテリの電力はもともと理想に近い(正しいバッテリを選択すれば、コンピュータ回路に最適な、平滑で安定した DC が低電圧で得られる)。レギュレーションは最小限ですみ、高電圧が侵入してコンピュータが破壊されるのを防止する保護回路や、マシンの動作を保証するために、バッテリの電圧出力が著しく低下する前に警告を出す定電圧検出回路のみである。バッテリ電圧は完全に予測可能なので、電力を浪費するシャントレギュレータやシリーズレギュレータは不要である。バッテリ電圧は単に充電量が減少するに伴い弱くなっていくからである。

ポータブルコンピュータでは、電圧調整より電力管理が重要な課題である。システム内部の回路は、どの資源が使用されているか、あるいはそれよりもどの資源が使用されていないかに重点を置いて監視している。使用されていない資源はシャットアウトされる。たとえば、ディスプレイ画面のバックライト、ハードディスクの回転、さらに一

部のシステムはマイクロプロセッサ自身もシャットダウンするのである。

ほとんど例外なく、ラップトップやノートパソコンは、バッテリを充電できるバッテリチャージャを装備している。基本性質と動作の点で、バッテリチャージャは電源に少し手を加えたようなものである。バッテリチャージャも、商用 AC が入ってきて、(通常は)低電圧 DC が出てくる。出力電圧は、システムのバッテリ出力に近いが、例外なく多少高めになっている (バッテリを完全に充電するのに必要なため)。

ほとんどの場合、バッテリチャージャ/電源は、ラップトップ外部の独立したユニットになっている。通常は、この中にはトランス以外の部分も含まれているが、大抵はこの外部電源全体を、トランスとかパワーブリックと呼んでいる。すべての外部バッテリチャージャが、重いトランスを使ったリニア設計を使用していれば、装置は実際のレンガ並みのサイズになるので、パワーブリック(レンガ)の名前もふさわしいといえるが、現在の外部電源はスイッチング設計を使用しているため驚くほど小型軽量である。

メーカーは、本体を軽量化し、マシン内部から 高電圧をなくしたいため、外部電源設計のほうを 好む。ただしこの場合、本体と別になっているた めに、置き忘れてしまう可能性があるほか、不意 に外れてしまう可能性のある接続部分が存在する という弱点もある。

外部電源は、商用電圧を適度なレベルに下げて DC に整流するだけで、電力管理機能は、すべて パーソナルコンピュータ内部に含まれている。

ノートパソコンやラップトップコンピュータの 外部バッテリチャージャ/電源には、これといった規格は存在しない。メーカーごとに、また同じ メーカーのマシンでもモデルごとに、独自の設計 を使用しており、出力電圧、電流、極性はまちま ちである。代用できる汎用電源は、コンピュータ の使用電圧と電流量に一致しているものだけであ る。極性については、正しいか間違っているかの 2 者択一で、万一極性を間違えると、システムの 多くの半導体が壊れてしまうため、汎用電源を使 用する場合は必ずその極性を確認する必要がある (ほとんどのパーソナルコンピュータでは、極性 の問題はつまるところ、電源の同軸プラグの真ん 中と端のどちらがプラスの端子かということになる)。また、シガレットアダプタもあり、多くのラップトップタイプやノートブックタイプのモデルを、自動車の中によく見られる、標準のシガレットジャックに接続することもできる。この場合も、特に電圧の極性には注意して、そのアダプタが使用するコンピュータに合っているかどうかを確かめなければならない。

ほとんどの外部電源は、単一の電圧で動作する設計になっている(本当の意味で汎用といえるものは少ないため、"汎用"という名前にだまされてはならない)。つまり、あるポータブルコンピュータを接続して充電できるのは、地球上のどちらか半分の地域に制限される。117V 地域から 230V 地域に移動する場合は、もう1つ高価な外部チャージャが必要になる。旅慣れた人は、電圧の違いに対処できるように、電圧変換器を携行することが多い。変換器にも、ラップトップのチャージャに使用できるタイプと、チャージャを壊しコンピュータまでも壊してしまうタイプの 2 種類が存在する

ことに注意しなければならない。

整流式変換器

最も単純かつ小型軽量で低価格な変換器は、AC 波形の半分を阻止して実質的に電圧を半分にカットする単なるダイオード(整流器)である。この変換器の場合、波形が半欠け状態の電気が供給されるため、パーソナルコンピュータや内蔵電源のような重要な電子回路に損傷を与える可能性がある。電気ヒゲ剃りやヘアドライヤには使用できるが、パーソナルコンピュータにはけっして使用してはいけない。

トランス

異なる仕組みを持った変換器として、単純なトランスがある。すべてのトランスと同じく、この手の変換器には重いという欠点がある(たかが1泊旅行のために持ち歩くには無理がある)。また、比較的値段も高い。ただし、正常なACを出力するので、パーソナルコンピュータに使用しても問題はない。もちろん、ラップトップコンピュータと一緒に電源と変換器も運ばなければならないわけで、この2つがマシン本体より重くなる可能性もある。結果的には、もう1つ別のバッテリチャージャ/電源を買った方が賢明だろう。

9.4 バッテリ

小学生の頃を振り返ると、授業で、レモンを半分に切ってそれに銅と亜鉛の棒を差し込んで電気の謎をかいま見る実験をしたことを思い出すことだろう。無人島に取り残されて、ラジオと切れた電池、レモンと銅と亜鉛の棒しかない場合には、この思い出も役に立つかもしれないが、DOS1.1のパーソナルコンピュータではあまり役に立ちそうもない。それでも、この興味深い実験は、バッテリ技術の説明の前書きとしては役に立つ。本節に先立って、この実験を思い出して欲しい。

バッテリ技術

レモンの実験は、化学反応によって電気エネルギーを生み出す1つの方法を示したものである。2つの金属棒は電極の役割を果たす。一方の金属棒が酸化という化学反応で電子を放出し、他方の金属棒が還元という化学反応で電子を取り込む。つまり、電子は一方の電極(陽極)から他方の電極(陰極)に移動する。レモンに含まれる酸は、電子がイオンの形で交換される媒体(電解液)の役割を果たしている。この3つの要素を組み合わせると、

18世紀の化学者ルイジ・ガルバニにちなんで名付けられたガルバニ電池と呼ぶ電気発生装置が形成されるのである。1個のバッテリは、このガルバニ電池をつなぎ合わせて作られている。

陰極と陽極を配線でつなぐと、陰極から陽極へ 電子が移動する。電子の移動が電流であり、この 電子の移動方向と逆向きに電流は流れることにな る。この電気の流れの途中に、たとえばパーソナ ルコンピュータなどを入れると、電気がそこで作 業を行うのである。

すべてのバッテリの動作原理は同じである。2つの異なる物質(厳密にいえば、通常 "E0 値" と略される酸化電位が異なる物質)が陽極と陰極になり、3つ目の物質が電解液として2つの物質をつなぐ。使用される3つの物質の種類も様々で、これにより多種多様なバッテリ技術が実現される。使用されている物質によって、貯蔵密度(一定のサイズや重量のバッテリに貯蔵できるエネルギーの量)と公称出力電圧が変わってくる。

バッテリは2種類に大別される。一次電池は、 片方もしくは両方の電極が化学変化を起こし、(金 属を再製錬するような)複雑な処理を施さない限 り元の状態に戻らない、充電不可能な電池である。 一方、二次電池(蓄電池)は、電気を与えることに より可逆的変化を起こす仕組みを持ったもので、 充電可能である。この電池が電子をもとあった場 所に戻すことができるのである。

パーソナルコンピュータにおける バッテリの用途

2種類のバッテリは、パーソナルコンピュータ内部でも用途がまったく異なる。今日のほとんどすべてのパーソナルコンピュータでは、一次電池はマシン内部のどこか見えないようなところにあって、パーソナルコンピュータを使用していない間も時刻クロックを動かし続ける小さな電気を供給している。また、この同じ電池で、システムの構成情報を格納する数バイトから数 K バイトの CMOSメモリも保持される。一方、蓄電池は、この世に存在するほとんどすべてのラップトップとノートパソコンの駆動用電源として使用されている(蓄電池をクロックと CMOS 用に使用しているシス

テムも少数ながらある)。

世界中で最も普及しているバッテリは、亜鉛とカーボンの電極を使用した一次電池である。この 亜鉛/カーボン電池(かつてはルクランシュ乾電池と呼んだが、懐中電灯用の電池といった方が分かりが早いだろう)では、亜鉛(電池の容器)が陽極、中央の黒鉛棒が陰極になっている。電解液は、化学物質の混合物(二酸化マンガン、塩化亜鉛、塩化アンモニウム)である。アルカリ電池は、電解液を構成する化学物質を変えて、貯蔵密度と寿命を増加させたものである。ほかにもいくつかの物質が特殊用途電池に使用されているが、金属リチウム以外はパーソナルコンピュータ用としては普及していない。

一方、世界中で最も普及している蓄電池といえば、自動車のスターター用に使われている鉛蓄電池である。この鉛蓄電池は、鉛(陽極)と二酸化鉛(陰極)を希硫酸の電解液に浸したもので、重いだけでなく、希硫酸という腐食性の液体がどこにでもこぼれてしまう可能性があるため、液漏れしないような密封構造のものもできている。

ゲル状電解液を使用した鉛蓄電池 (簡単にゲルバッテリと呼ばれることが多い) は、この問題が軽減される。このバッテリの電解液はゼラチンのようなコロイド状になっており、漏液の心配が少ないのだ。ただし、ほとんどの鉛蓄電池と違って、ゲルバッテリは充電完了後に低電流充電を連続して行うと劣化する (多くの鉛蓄電池は、このような"トリクル"充電で完全な容量を持続するのである) ため、充電完了後に自動的にオフされる特殊なチャージャが必要になる。

家電製品で最も普及している蓄電池は、ニッケル・カドミウム電池(略してニッカド電池と呼ばれることが多い)である。この電池は、名前が示すようにニッケル製とカドミウム製の電極を使用する。最大の特長は、500回の充放電に耐える点である。また、比較的軽量でエネルギーの貯蔵密度が高く、トリクル充電にも耐性がある。欠点は、カドミウムが有毒である点である。

ニッケル水素電池は、ニッカド電池の特長を維持しながら、有害なカドミウムをなくした電池である。その上、同じセルに約20%も多くのエネル

ギーを貯蔵できる。ただし、比較的新しい製品であるため、ニッカド電池より割高になっている。

■クロック用電池

1984年のAT発売以来、ほとんどのパーソナルコンピュータには、時刻クロックがシステムボード回路に搭載されている。正確に時間を刻むために、このクロックはコンピュータの電源を切っても動作し続けなければならない。このクロック用に必要な電源は、小型電池である。

クロック用の電力を供給する方法は、メーカーによって異なっている。IBM は、システムユニットの裏側から取り外しができる、プラスチックケース入りのリチウム一次電池を使用して、この先頭を切った。最初の PS/2 以後は、電池の搭載場所は内部に移動したが、種類はリチウム電池のまま変更していない。一部の新型のマシンは Dallas 社のクロックモジュールを使用しているが、これも内蔵リチウム電池を使用している。

リチウム電池にはいくつかの特長がある。エネルギー密度が高く、サイズ (重量および容積) 当りの電力量が多い。さらに、自己放電量が小さく、従来の亜鉛/カーボン乾電池が使用しなくても1年位で寿命が切れてしまうのに対し、リチウム電池は10年以上もの長期保存に耐えられる。以上の特長から、リチウム電池はクロック用電源として最適なのである。今日の半導体クロックはほとんど電力を消費しないため、電池と回路が正しく適合していれば、未使用の場合の寿命と変わらないほどの連続使用も可能である。

リチウム電池の欠点は、値段が高いことと、売られている場所が限られている点である。また、これに使用される物質の特性により、セル当りの出力電圧が3Vなので、1個のリチウム電池では標準的なデジタル回路の動作には電圧が低すぎ、2個使用すると高すぎることになる。

もちろん、設計によって過電圧を取り除くことは可能であり、実際にそのような処理が行われるのが一般的である。ただし、設計が悪いと、使用される電力量よりロス分の方が多くなり、電池の寿命が短くなる。パーソナルコンピュータの中には、この問題を抱えていて、電池の寿命が極端に

短いものもある。

Dallas 社のクロックモジュールの利点は、回路と内蔵電池を適合させて寿命の最適化が図られているため、10年もの寿命があることである。一方、ほとんどのモジュールがシステムボードにはんだ付けされているため、モジュール交換のためには修理ショップに持ち込まなければならないという欠点もある。

多くの IBM 互換機メーカーは、リチウム電池 の高価格と入手の面倒を避けるために、4個のAA 電池が入れられる電池ケースを搭載している。こ の場合も、亜鉛/カーボン電池やアルカリ電池1 個は 1.5V の出力電圧であるため、4 個では 6V に なってしまい、設計の不適当なコンピュータでは、 リチウム電池を2個使用した場合と同じ問題を抱 えることになる。それに加えて、電池の寿命も短 い。3個のAA電池の出力電圧は4.5Vなので、ほ とんどのクロック回路では支障がなく、電圧のレ ギュレーションによってロスが発生することもな い。普通の電池を3個組み合わせて、ほとんどのシ ステムボードに合うコネクタを付けた特殊なパー ソナルコンピュータ用のアルカリ電池モジュール も販売されている。このような電池を搭載できる 設計のシステムボードで使用するピンコネクタは、 事実上の標準規格に従っている。

■ ラップトップパソコンと ノートパソコンの電源

ポータブルコンピュータは、バッテリに対して 互いに相容れない2つの要求を持っている。つま り、できるだけ寿命が長く、できるだけ多量の電 力を供給しなければならない一方で、できるだけ 小型軽量でなければならないのである。両方の要 求を同時に満たすことは不可能であり、ノートパ ソコンやラップトップタイプのコンピュータの電 池は妥協の産物になっている。

ラップトップコンピュータには、これまで3種類の蓄電池(鉛蓄電池、ニッカド電池、ニッケル水素電池)が使用されてきた。エンドユーザーの立場からは、極端に重くなく、それほど頻繁に寿命が尽きなければ、どの種類の電池であってもかまわないはずだが、ラップトップやノートパソコンの

世界では、貯蔵密度が高いことと危険性が少ない という理由で、ニッケル水素電池の人気が高まっ ている。

電池の種類もさることながら、コンピュータの 電池では取り扱いが重要になる。パーソナルコン ピュータでは、電池を正しく取り扱うことによっ て、充電時間も交換するまでの期間も長くなるの である。

初期のニッカド電池は、そのメモリ効果で悪名の高い電池であった。ニッカド電池は充放電した量を記憶するため、しばらくある量の充放電を繰り返すと、その量しか放電しなくなるのである。通常の解決法は、たとえば、毎月定期的にニッカド電池を深く放電させて、このメモリ効果を取り除くことだろう。このように深く放電させるための特殊なユーティリティもある(Traveling Software社の「Battery Watch」にはそのユーティリティが入っている)。

ただし、深く放電させるといっても完全に放電させるわけではない。完全に放電させると、電池に損傷を与えてその寿命を短くしてしまうのである。ニッカド電池は、1V以下(正常な出力は1.2V)に放電されると損傷を受ける。ラップトップコンピュータでは、電池の電圧が下がりすぎる前にオフになる設計になっており、放電ユーティリティもそれ以上放電させることはないので、ニッカド電池を安心して使用することができる。ただし、システムの電池を放電させるときには、決して短絡させてはいけない。電池がだめになるだけでなく、発火する危険も出てくるからだ。

今日のノートパソコンやラップトップコンピュータのメーカーは、ニッカド電池のメモリ効果の問題は、電池設計が改良されているため(新しい設計のニッケル水素電池ではこの問題はまったくない)、心配には及ばないといっている。念のためにということで電池を完全放電させることも可能だが、単なる放電のみを目的に放電することのないよう注意しなければならない。充放電の可能な回数には制限があり、無駄な放電によってその寿命が1回分減ってしまうことになるからだ。システムの電池が消耗しかかっており、いずれ充電することが決まっている場合に限り、放電ユーティリ

ティは使用すべきである。

ほとんどのパーソナルコンピュータの電池とバッテリチャージャは、ずっとコンセントに接続したままでも電池を傷めないような設計になっている。 実際、一番良い方法は、完全充電後もパーソナルコンピュータをコンセントにつないだままにしておいて、マシンを携帯する必要がある場合のみチャージャから外す方法だ。トリクル充電は電池を傷めない(実際に、電池が充電されると、バッテリ充電回路がオフになる)し、つねに携帯可能な状態にしておくことができる。

電池の安全性

電池が発生できる最大電流は、内部抵抗によって制限される。亜鉛/カーボン電池は、比較的抵抗が高いため発生する電流は小さく、数百 mA 程度である。鉛蓄電池、ニッカド電池、およびニッケル水素電池は、内部抵抗が極めて低いため、大量の電流を生成できる。このような電池の端子を短絡させると、短絡に使用した物(配線、金属片、コイン)は熱抵抗によって熱くなる。たとえば、完全充電状態の自動車のバッテリの端子をレンチでつなぐと、レンチを溶かすこともできる。あるいは、ラップトップコンピュータに使う予備のニッカド電池は、端子を短絡する物を不用意に触れさせてしまうと、火災の原因にもなりうる。電池の端子には何も触れないように注意しなければならない。

電池の充電中は、電気分解と呼ぶプロセスが内部で発生する。高校の化学の実験で行ったように、電気分解のプロセスの中では、普通の水は電気によって酸素と水素に分解される。水素は爆発性の気体、酸素は酸化させる元素である。電池を充電すると、両方の気体が生成する。通常は、その気体は(爆発など)何ごとも起こらないうちに電池に吸収されるが、(電圧が高すぎる結果として)充電電流が強すぎると、気体が蓄積されていくことがある。一次電池を充電した場合も、同じことになる。その結果、電池は内部圧力に耐えきれず破裂したり、気体の燃焼によって爆発する。電池は完全に壊れてしまわないまでも、寿命はかなり短くなる。要するに、ラップトップ用バッテリ専用の

チャージャだけを使用するようにして、勝手に早 急なまねはしないことである。

ほとんどすべての電池には、なんらかの有害物質が含まれている。亜鉛ーカーボン電池にもマンガンが含まれており、これは有害物質と考えられ

ている。いずれの電池も環境を汚染するため、正 しく廃棄しなければならない。一部のメーカーは、 電池をリサイクルする体制を整えつつある。この 手段を利用して、是非リサイクルが活発になるよ うにしたいものである。

9.5 デスクトップコンピュータの電源

ほとんどのパーソナルコンピュータは、電源を 単体の構成部品として収容し、シャシーにねじ留 めして電気を必要とするシステムボードやほかの 装置にプラグ接続されている。電源自体は、熱を 逃がしながら指などは入らないようになった通風 孔がいくつもあいた金属ケースに収められている。

実際、独立型で保護ケースが付いたパーソナルコンピュータ用の電源は、IBM 設計の主な長所の1つであった。人命に係わる電圧、特に商用電圧は、電源のケースの中に隠され、危険のない低電圧だけが、パーソナルコンピュータのシステムボードや拡張ボード上でアクセス可能、つまり手で触れることができる。システムが動作中でも、マシン内部のボードはつかむことができ、感電の心配はない(高熱の半導体に触れればやけどをするし、リード線の先で指を刺すことはあるかもしれないが)。

だからといって、動作中のコンピュータのスロットからボードをつかみ出すことが、コンピュータの国路にとっても安全だというわけではない。拡張ボードを引き出す場合には、瞬時であってもスロットコネクタのピンに触れる可能性がある。結果として、拡張ボード(およびマザーボード)に予期しない電圧が加わり、回路を壊すこともある。特に EISA システムの場合は、新式の拡張コネクタを使用しているため、その可能性が高い。要するに、スイッチが入ったままで、拡張ボードの抜き差しは行わないことだ。うまく行く場合も多いだろうが、たった1回の失敗であなたの努力は水の泡となってしまう。

ほとんどのパーソナルコンピュータでは、電源

は副次的な役割も果たしている。電源回路を冷却するファンは、システムの電源以外の部分の通風も行う。同時にこのファンは、パーソナルコンピュータの動作中のノイズの発生源でもある。通常、電源のファンは排気用で、空気を外に吹き出す。空気は、システム内部の空間から電源の開口部を通して電源に吸い込まれる。このため、パーソナルコンピュータに吸い込まれた空中のほこりが、電源を通って排気される前に、システムボードに蓄積してしまうという欠点もある。

電源の選択

パーソナルコンピュータ用の電源のパッケージの寸法には、2つの標準がある。最初のPC およびXT 用と、フルサイズAT 用の2つである。AT 用の電源は、PC/XT モデルより大型で、寸法は、高さが5.875 インチ、幅が8.375 インチ、奥行きが5.875 インチである。コンピュータのシャシーの中にシステムボード用のスペースを空けるため、インボードの底部の隅には切り込みが入っている。PC/XT 用の電源の寸法は、約4.75×8.375×5.5インチである。

AT 電源が、より小型の XT サイズのシャシーに入らないのは当然だが、小型の XT サイズの電源が、AT のシャシーに収まらないのは意外であろう。ねじの位置やほかの機能部品がまったく異なるため、小さくても大きいケースにうまく収まらないのである。

ほかのシステム設計の違いも、電源交換作業を 困難にしている。パーソナルコンピュータメーカー が独自のシステムを設計するたびに、承認された標 準から遠のいていく。大手メーカーの Compag、Dell、IBM、NEC、Tandy、Zenith などは、通常、電源をカスタム設計のケースに入るように設計しなおしている。つまり、大手メーカーは2つの標準型の電源パッケージよりも、目的にあったほかのパッケージの方を優先させているのである。結果として、大手メーカーのシステムの電源故障は、標準サイズの電源を使用する中小メーカーの場合より高くつくことになる。メーカー独自の設計の電源は、価格が400ドル以上もする。一方、標準型の電源は、50ドル以下で売られている。

サイズのほかにも、電源には2つのランクがある。汎用クラスと高級クラスである。汎用電源は、必要な電圧と電流を供給すること以外には何の特長もなく、発音することも想像することもできないような極東のさる地域で製造されている。これらの電源は50ドル以下という低価格だが、ともかく短期間は動作する。実際、安価な互換機にはこの手の電源が搭載されていることが多い。

高級クラスの電源メーカーは、汎用クラスより 絶大な利点を約束する。大きい電力量、少ないノイズ、優れた通風などである。高級クラスは高価 な代わりに、高い保証を約束する。このクラスの 電源が必要かどうかは、使用者側の気持ち次第で ある。ほとんどのパーソナルコンピュータは、低価格の電源で十分動作する。静かなファンはわずらわしくなくてよいだろうが、あなたのパーソナルコンピュータが気温 37 度の日にトラブルなく動作するのなら、それ以上に優れた通風性能は不要だ。要するに、安らぎや静寂は値段に代えがたいかもしれないが、実際の決断は人それぞれということになる。

電源の搭載

標準サイズの電源は、搭載方法も標準になっている。電源のクロムめっきされた大きなケースは、コンピュータの背面パネルに 4 個のねじで固定される。また、背面パネルに電源の重さが掛からないように、電源正面はコンピュータのシャシーから出た爪で固定される。

コンピュータの上カバーを外して、電源を見つけると、背面パネルの4個のネジ位置が電源の裏側の4つの隅にほぼ対応していることが分かる。コンピュータを背後から見ると、4個のねじは背面パネルの左半分に、長方形の形に配置されている(図9-1参照)。これらのねじを外すと、電源はシャシーから少し外れるが、完全には外れない。

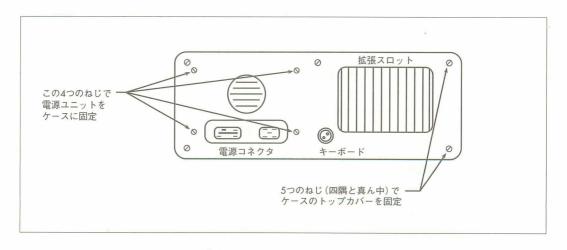


図 9-1 電源の背面パネルのねじ

電源を取り出す際には、始めに各ディスクドライブとシステムボードから電源コネクタを外す。 続いて、電源ボックスをディスクドライブの背面 に軽く当たるまで1インチ程度前方にずらす。これで、電源はシャシーから持ち上げることができるはずである。

新しい電源や交換用電源を組み込むのも同じくらい簡単だ。まず、電源スイッチがシャシーの上側に空けられた切り込みから飛び出すように電源を向ける。次に、新しい電源を古い電源があったスペースに真上から下ろす。

新しい電源をねじ留めする前に、ドライブに軽く当たるまでいったん前面に出す。次に、持ち上げずに上から押さえたまま、背面パネルの方向に押し戻す。この前後の移動を行うと、コンピュータのシャシーの2つの爪が、電源底部のスロットにはまって電源を固定する。続いて電源コネクタを接続する。

最後に、電源をねじ留めして固定する。ねじは それぞれ完全に締める前に、4本とも2回転位締 めるだけにして、電源をずらせるように余裕を持 たせて、4個のねじ穴がうまく合うようにすると よい。1個のねじを完全に締めつけてしまうと、残 りの穴がシャシーの穴と合わないことがある。4 個とも穴にそろったら、4本すべてを締める。

電源の接続

IBM 標準である PC、XT、および AT の電源からは、いずれも 2種類のコネクタが数本出ている。2本はシステムボードに接続し、残りはテープドライブやディスクドライブと接続するものである。

大容量記憶装置用電源

テープドライブとディスクドライブ用のコネクタは、これらの装置の動作用に 5V と 12V を供給する。コネクタには 2 つのサイズがあり、極性があるため間違って接続できないようになっている。一方のドライブ用電源コネクタは、断面がほぼ長方形で、2 か所の角が削ってあり、ドライブのジャッ

クに決まった向きにしか差し込めないようになっている。多くの3.5 インチドライブで使用されている新型の小型電源コネクタは、正しい方向にしか差し込めないように極性を示す突起がある。どちらのドライブ用のコネクタでも、合わない場合は無理に押し込んではいけない。180 度回転させてからやり直せば、うまく差し込めるはずだ。図9-2に、両方のタイプのドライブ電源コネクタと各ピンから供給される電圧を示す。

PC や一部の互換機は、電源コネクタに関しては断固とした節約主義で、2個のコネクタしかない。3個以上のドライブに電力を供給するには、電源線を2つに分けるY型アダプタが必要になる。適当なコネクタがあるなら、手製でこのケーブルを作ってもよいが、ドライブメーカーの既製品を買った方が簡単だし、むしろ安上がりである。しかし、標準タイプの電源は、標準の2台のフロッピー以外に複数の大容量記憶装置を動作させるには容量が足りないため、もっと多量の電流を供給する電源と交換するほうが、さらによい方法といえる。

システムボードの電源

標準タイプの電源の2個のシステムボード電源コネクタは、同じものではない。それぞれが担当する電圧が違うのである。ほとんどのパーソナルコンピュータ用電源では、これらのコネクタにはそれぞれ"P8"と"P9"というマークが付いている。P8の方は、システムボード上で通常シャシーの背面近くにある方のコネクタに接続する。

すべてのシステムボードが、ほとんどの電源に標準装備されている2個のバーンディコネクタに合わせた形をとっているわけではない。PS/2は多くの場合(つねにではない)、2つのコネクタを1つのコネクタにまとめたものを使用している。ほかのシステムボードメーカーは、これとはわずかに異なるモレックスコネクタを使用している場合がある。残念ながら、バーンディコネクタとモレックスコネクタは、完全には互換性がない。

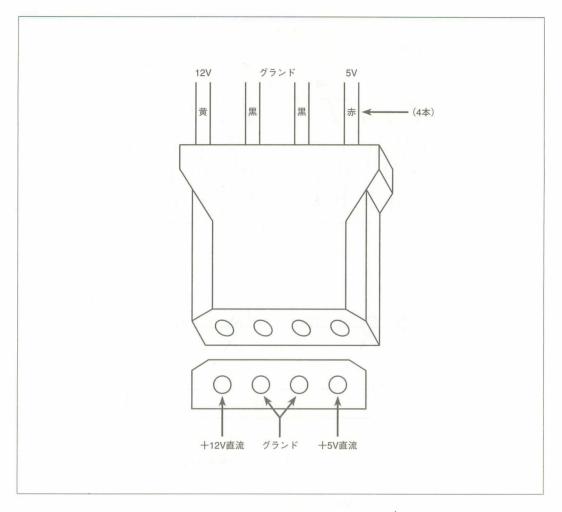


図 9-2 大容量記憶装置用電源コネクタ

2つのタイプのコネクタの相違点の1つは、バーンディコネクタのピンは矩形だが、モレックスコネクタは、もっと小型の正方形のピンを使用している。異なるコネクタを接続するのは大変な努力が要る。電源を注文する前には、システムボードに合ったピンの形を確認しておくべきだろう。コネクタのタイプを確認するには、コネクタを外してピンの形を調べるしかない(この場合、パーソナルコンピュータのスイッチを切ることはいうまでもない)。

ほとんどの電源メーカーが使用しているバーン ディコネクタは、間違った場所に差し込めないよ うに "キー"が付いている。ただし残念ながら、多くの交換用電源は、キーのないものが出荷されている。

システムボードに接続する電源コネクタを見ると、コネクタの片側に1個もしくは複数個の小さなタブが飛び出していることに気がつくだろう。そのうちの1個だけがほかのタブより長い場合は、コネクタはキー付きということになる。全部の長さが同じ場合は、キー付きではない。また、右側の1本を残してほかのタブを切り落とせば、キー付きにすることができる。図 9-3 は、キー付きのコネクタである。

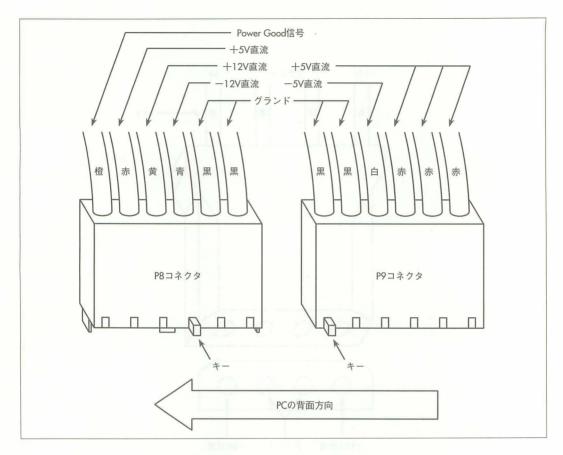


図 9-3 システムボード用キー付き電源コネクタ

ほかにも、システムボードコネクタが正しい位 置で接続されているかは、配線の色コードで確認 り合わせになるわけである。 できる。正しく接続すれば黒のコードが中央にく

る。つまり、2つのコネクタの黒の配線同士が隣

通常の配線の電圧は、多くの場合、我々が料金 を支払っている 115V の交流にはほど遠い。ノイ ズ、電圧低下、断流が入り交じったスパイクやサー ジを伴っているのである。これらはいずれも不要 なもので、データのエラーやコンピュータの損傷 の原因になるほど強いものもある。これらは回避 することはできないが、その悪影響からパーソナ ルコンピュータを保護することは可能である。

電源ラインの異常変動

電源ラインの問題は、過電圧、低電圧、ノイズ という3つの基本カテゴリに大別できる。個々の 問題にはそれぞれ異なる原因があり、特別な保護 が必要になる。

過電圧

最も恐ろしい電源ラインの敵は、稲妻のような

高電圧スパイクの過電圧で、パーソナルコンピュータに侵入してシリコン回路を溶かしてしまう。損傷は目に見えないことが多いが、モニタには何も映らなくなるのですぐにわかる。また、実際に過電圧の被害がコンピュータ内部の黒焦げの残骸という形で現われることもある。

名前が示すように、過電圧によって、装置が処理できる範囲を超えた電圧がパーソナルコンピュータに送り込まれる。概して、理想にかなり近い商用電力でも、通常はその定格値の約10%の範囲内にある。つねにこの範囲内に収まっていれば、パーソナルコンピュータの内部変圧回路によって、この変動を切り抜けることができる。

しかし、短い期間この範囲を超える過電圧が、電力会社の設備が補償できないほど素早く発生することがある。さらに、多くの過電圧は、家庭やオフィス内部で発生するため、電力会社としては手の打ちようがない。通常の配電線で25,000Vの瞬間ピークが測定されたこともある。普通は付近で発生した稲妻が原因になるが、稲妻は必ずしも、配電線を直撃して、パーソナルコンピュータに損傷を与える電圧スパイクを誘発するわけではない。配電線を直撃した場合には、その回路に接続された何もかもが、フラッシュバルブのように燃えてしまう。

過電圧は、持続時間により2つに分類される。 持続期間が短い過電圧をスパイクと呼び、これは ナノ秒からマイクロ秒持続する。長い方の過電圧 は通常サージと呼ばれており、持続時間はミリ秒 という単位である。

ときには、電力会社の手違いによって過剰な電 圧が配電線に送られ、電灯が普段より明るく輝い たり、パーソナルコンピュータが壊れそうになる こともある。この場合は、単に「過電圧」と呼んで いる。

■低電圧

低電圧は、装置が期待する電圧を下回る電圧しか与えられない場合を指すが、その範囲は、数ボルトの電圧の落ち込みから完全な停電まで範囲は広い。持続時間もは、ほとんど瞬時といったものから数時間(電気料金未払いの場合は数日)まで

様々だ。

きわめて短時間なら、電圧低下も停電さえも問題にはならない。数十ミリ秒以下程度(まばたきするぐらいの時間)なら、コンピュータは何事もなかったかのようにやり過ごす。唯一の例外は、極めて繊細な Power-Good 信号を持つ電源を搭載している少数の旧式のモデルのコンピュータだ。この場合、瞬時の停電でも Power-Good 信号をオフにして、実際には十分な電気があってもコンピュータをシャットダウンするのである。

ほとんどのパーソナルコンピュータは、約20%の 低電圧なら長時間でもシャットダウンしないで持ち こたえる設計になっている。これより大幅な電圧 低下や停電が数ミリ秒続いた場合にはシャットダウ ンが行われる。この場合、パーソナルコンピュー タはコールドスタートを余儀なくされ、最初から ブートしなければならず、低電圧の発生前に保管 されていない作業内容は失われてしまう。

■ノイズ

ノイズは、ほとんどの電子機器の電源にとって やっかいな問題だ。ノイズは、配線が電磁界を通 過する際に拾い上げる擬似信号からなる。多くの 場合、これらの信号は電源のフィルタ回路をくぐ り抜けて、電子機器内部の信号に対して干渉を引 き起こす。たとえば、テープレコーダの電源コー ドは、アンテナのような働きをして強い無線信号 を拾い上げる。無線信号はレコーダの回路に侵入 して再生中の音楽に混入する。その結果、モーツァ ルトの曲の上で CB 無線のおしゃべりを聞かされ るはめになる。

コンピュータでは、これらの擬似信号はマシンの回路を流れるデジタル思考を混乱させる可能性を持っているが、現実問題としては、そのようなことは起こらない。ちゃんとしたコンピュータは、ケース内部から信号が外部の世界に漏れるのを最小限に抑えて、ラジオやテレビにできるだけ受信障害を発生しないように設計されている。この信号を外に出さない保護処置が、ほかの信号が回路内に侵入するのを防ぐ役目も果たしているわけだ。このように、パーソナルコンピュータにおいては、ラインノイズからの保護は行き届いているので、

コンピュータを保護するためのノイズフィルタは 不要といえるだろう。

しかし、ノイズフィルタがあっても害があるということではない。ノイズフィルタは安く、(特にそれが必要だと思い込んでいる人たちにとっては)セールスポイントにもなるため、ほとんどの電圧保護デバイスはノイズフィルタを内蔵している。ユーザーはこの追加保護を利用すればよいわけで、わざわざ買い求める必要はない。

過電圧保護

スパイクやサージの保護回路は、短時間の強力な過電圧がパーソナルコンピュータに到達しないように設計されたものである。これらの保護回路は、過電圧が電源コードを伝わってコンピュータの電源に到達する前に、過電圧を吸収するようになっている。

最もよく使用されている過電圧保護デバイスは、バリスタ(正式には金属酸化バリスタ、略して MOV)であろう。バリスタは、リード線の間の電圧があるレベルを超えた場合にだけ通電するように動作する。バリスタは、スパイクやサージの過電圧が、パーソナルコンピュータに入り込む前に通電してそれらを消し去るわけである。バリスタがスパイクに対してこの動作を始める電圧のことをクランプ電圧と呼ぶ。

過剰なエネルギーは消失せずに熱に変わり、バリスタを破壊する場合もある。バリスタは身を挺してコンピュータを保護しているのである。まったくバリスタを破壊しないバーストでさえも、わずかながらバリスタに損傷を与えており、そのダメージは蓄積されていく。つまり、バリスタの寿

命は有限で、通電してサージを消し去るごとに短くなるのである。最終的にはバリスタは破損し、ひどい場合には電光のように破裂する。バリスタの破損が原因で、コンピュータ回路に電気的な損傷を与えることはないにしても、火災を発生させて、パーソナルコンピュータはおろか、家やオフィス、使用者にさえ危害が及ぶことがある。一部のメーカー(IBM など)は、電源にバリスタを入れるのを止めて、メーカーとしてはマシンの故障よりもよほど厄介な火災の可能性を排除している。また、バリスタは密かに破損して、サージを吸収していないこともある。使用者の知らない間に、パーソナルコンピュータは無保護のまま使用されていることがあるのだ。

いずれにしても、バリスタを破損したままマシンを使用するといった可能性を少なくし、つねに確実にバリスタを動作させておけるように、バリスタは定期的に交換したほうがよい。交換頻度は、バリスタにかかる負担に依存するが、通常は、数年というのが妥当な交換期間である。ほかにも、半導体、イオン化スパークギャップ、フェロ共鳴トランスなどのデバイスが過電圧除去に使用されることもある。これらは機能はバリスタに似ているが、動作原理が異なっている。

過電圧保護デバイスの最も重要な特性は、いかに速く動作し、いかに多くのエネルギーを放散するかである。通常、応答時間(クランプ速度)が速いほどよく、ピコ秒といった単位のこともある。また、エネルギー処理容量は大きいほどよく、ワット秒またはジュールで測定する。数百万ワットを処理できると謳っているデバイスもまれではない。

9.7 低電圧保護

コンピュータには、低電圧を処理するデバイスが3つある。電圧レギュレータは、電圧の変動をパーソナルコンピュータが動作できる範囲内に保つが、急激な電圧の落ち込みや停電に対する保護

機能はない。これに対して、停電に対応するのが 予備電源システムと無停電電源 (UPS) である。

電圧レギュレータは、電力会社が供給電圧を一 定レベルに保つのに使用しているのと同じデバイ スである。電力会社の巨大なレギュレータは、異なる電圧レベルにセットされた出力装置である多数のタップ (巻線)を持った大型トランスで構成されている。レギュレータに結合されたモータがスイッチを動かして、正常な配線電圧に最も近い電圧を供給するタップを選択する。これらの機械式レギュレータは巨大な設備で、最も小さいものでもオフィス全体を占有して余りある。その上、電気的な時間の尺度では本質的に低速過ぎ、データ損失を招くに十分な電圧の低下の持続を許してしまう可能性もある。

半導体電圧レギュレータは、半導体を使用して 線路電圧の変動を補償するものである。コンピュー 夕内部の電源と似た働きをするが、補償範囲がもっ と広い。

可飽和リアクタレギュレータは、トランスのコアを飽和させるのに十分な直流制御電流をトランスの補助制御コイルに加える。飽和状態になると、それ以上の電力はトランスを通過できない。直流制御電流を調整することで、トランスの出力を調節するわけだ。このデバイスは、調整範囲全体の電力を捨てざるを得ないため、効率が低い。

フェロ共鳴トランスレギュレータは、補助巻き線とキャパシタの組み合わせを使用して、ラジオの同調と同じ方法で飽和するように "同調"する。この同調により、トランスはその出力の電圧や周波数の変化に抵抗を示すようになる。実質的に、これは大きな電気的慣性となって、電圧スパイクを調整するだけでなく、これを抑制してラインノイズを減らす。

電圧レギュレータの性能は、出力を希望する電 圧値のどれだけ近くに維持できるかによってきま る。レギュレーションは、通常、ある入力変化に 対する出力変化として表現される。レギュレータ の入力範囲は、そのレギュレータが補償できる電 圧の変動範囲を表わしている。この範囲は、コン セントで発生しうる電圧変動を超えるものでなけ ればならない。

停電保護

予備電源システムも無停電電源システムも、同 じ方法で停電保護を行う。その基本は、大量の電 流を貯蔵する強力なバッテリである。インバータが、バッテリからの直流をコンピュータが使用できる交流に変換し、システムに内蔵されたバッテリチャージャが、貯蔵電源を常時完全に充電された状態に保つのである。

両方のシステムには類似点が多いため、「UPS」という用語が予備電源システムと無停電電源システムの両方に誤って使用されることが多い。この2つのシステムは、次の基本的な点が異なっている。予備電源システムから供給される電気は、デバイスが、商用電力から内部貯蔵電力に切り換えるときに、短時間中断される。一方、無停電電源システムは、名前が示すように、保護対象のデバイスに供給する電気にいかなる中断も許さない。パーソナルコンピュータが電気供給の短時間の中断に敏感な場合は、この違いは重要である。

予備電源システム

名前が示すように、予備電源システムは、電源が障害を起こしたときに即座に動作できるように常時待機している。正常な状態(商用電力が使用可能な状態)では、システムのバッテリチャージャは緊急用エネルギーを保持するために少量の電流だけ引き出している。予備電源が電力を引き出すAC電源ラインは、予備電源の出力に直接接続され、それからコンピュータへ接続されている。バッテリは経路の外にある。

停電が発生すると、予備電源が動作にスイッチするが、この"スイッチ"がキーワードである。コンピュータへと続く予備電源内部の電流の配電線は、商用電線からバッテリ駆動インバータから来る電流へと物理的にスイッチされるのである。

スイッチには、短いが、ある程度の時間を要する。まず、停電を検出しなければならない。最高速の電子式電圧センサであっても、停電を検出するにはある程度の時間がかかる。さらに停電の検出後も、コンピュータが新たな電気の供給を受ける前に、スイッチ動作を行うあいだ、短時間の中断がある。ほとんどの予備電源システムは、コンピュータが中断に気づかないほど高速にスイッチするが、まれに、予備電源システムとコンピュータの相性が悪い場合には、コンピュータがスイッ

チの期間中にシャットダウンされることもある。

現在のほとんどの予備電源システムは、AC電流が供給される1サイクルの1/2以内の時間でスイッチする。つまり、10ミリ秒以下でスイッチを行うということで、このため、ほとんどすべてのコンピュータは、中断がなかったかのように動作を続行できる。予備電源システムの設計は、スパイクやサージに対する保護を行わないが、別の保護デバイスを回路内に搭載して、パーソナルコンピュータにクリーンな電力を確実に供給している。

無停電電源システム(UPS)

従来の無停電電源システムは、出力を商用電線からバッテリにスイッチする必要がなかったため、文字どおり無停止電力を供給した。というよりも、そのバッテリがインバータ経由で常時継続してシステムの出力に接続されていたのである。この手のUPSは、つねにバッテリからコンピュータに電力を供給していたため、コンピュータは完全にAC電線の気まぐれの影響を受けるとはなかった。新式のUPS設計は旧式の設計より予備電源システムに似ているが、技巧を凝らしてスイッチ中の中断さえ埋めている。新式の設計も本当の意味の無停電電力を供給するが、旧式の設計よりもずっと安価に製造できる。

旧式のUPSでは、バッテリは、コンピュータに電力を供給する定電流が放電しないように、大型の内蔵チャージャによって保護されている。停電になると、チャージャは充電を停止するが、バッテリは切り換えを行うことなく、接続されたコンピュータに電気を送り続ける。実質的に、このタイプのUPSは、給電先のマシンとは数インチしか離れていないだけの専用発電所であり、稲妻や負荷変動の悪影響からコンピュータを保護している。したがって、電圧低下やサージがコンピュータまで届くことはない。代わりにコンピュータは、本来前提としている真に平滑で一定した電気の供給を受けるのである。

新式のUPSでは、特殊なトランス経由で入力 電力とインバータの出力の両方を接続し、それを 保護すべきパーソナルコンピュータやほかの装置 に接続している。商用電力が使用できる場合でも、 このタイプの UPS はトランス経由で電力をパーソナルコンピュータに供給する。停電が発生すると、インバータが一般に 1/2 サイクル以内で始動する。このとき、トランスのインダクタンスは蓄電システムとして動作して、切り換え中に中断される 1/2 サイクルを供給する。

従来型の UPS は、サージとスパイクに対する 保護 (および電圧低下の除去) が万全である。電源 線と保護される装置のあいだに直接的な接続が存 在しないため、スパイクなどの侵入経路がない。 新式の UPS のトランスも電源線の異常変動を全 体的に吸収するが、同じ程度の保護は望めない。 このため、新式の UPS は、ほかの保護デバイス (MOV など) を内蔵している。

バックアップ電源システムの仕様

バックアップ電源デバイスを購入する前に調べておくべき最も重要な仕様は、"ボルトーアンペア(VA)"または"ワット(W)"で表した電気容量である。この数値は、必ずバックアップデバイスを接続する予定の機器の定格より大きい値でなければならない。

交流 (AC) システムでは、ワットは必ずしもボルトとアンペアの積 (直流システムに適用される定義ではそうだが) ではない。これは、電圧と電流の位相がずれることがあるからだ。つまり、電圧が最大のとき、回路の電流が中間段階の値をとることがあるのだ。したがって、電圧と電流のピークがそれぞれ異なるときに発生することが多い。

電力は、電圧と電流の両方を同時に必要とする ため、AC 回路の電圧と電流の積は、実際の回路 の電力より大きいことがしばしばある。これらの 2つの値の比率を、システムの電力効率と呼ぶ。

重要なことは、ボルトーアンペアとワットは同じものではないということである。ほとんどのバックアップ電源システムが VA を定格としているのは、電力係数のおかげでそのほうが大きい値になるためである。コンピュータ機器が使用する VA 総量は、バックアップ電源システムが供給できる VA 量より少なくなければならない。逆に、機器が使用するワット数は、バックアップ電源システムが供給できるワット数以下でなければならない

のである。そして、比較するときには、VA とワットを混同してはならない。

VA 定格をワット定格に変換するには、VA にバックアップ電源の電力係数をかける。同様に、ワット定格を VA 定格に変換するには、ワット数をバックアップ電源の電力係数で割る。電源に接続する機器についても、同様にして定格の単位を変えることができるが、機器の電力係数を見つけるのが困難な場合がある。パーソナルコンピュータでは、目安として安全な値は 2/3 である。

予備電源システムと無停電電源システムは、バッ

テリ電力を供給できる時間についても定格がある。この値は、システムが貯蔵するエネルギー総量(電力と時間の積)に等しい。この時間定格は、バックアップデバイスが供給しなければならない VA値によって変わる。バッテリ容量は有限なため、供給電流が増えるほど、時間は短くなるのだ。ほとんどのメーカーは、バックアップシステムの定格を、エネルギーの単位を使用する科学的な方法ではなく、特定負荷での動作時間で表わしている。たとえば、バックアップシステムの定格は、「250VA負荷で20分」という形で表わされる。

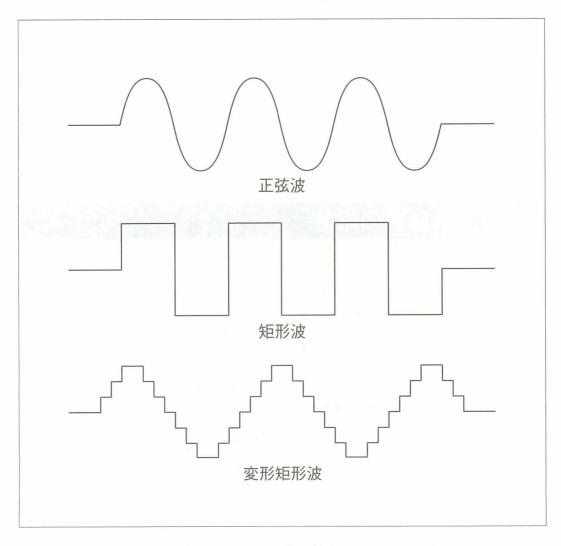


図 9-4 電源の波形

あるバックアップ電源がシステムを動作させう る最大時間を知りたい場合は、それが使用してい るバッテリの定格を調べる。ほとんどのバッテリ は、アンペア時の定格になっており、これはどれ だけの電流をどれだけの時間流すことができるか を示している。この定格にバッテリ電圧をかける と、本当のエネルギー定格が得られる。たとえば、 「12V、6Ah」のバッテリは、理論上、72Whの電 力を生成するということになる。この値は、バッ テリを DC から AC に変換する回路が電力の一部 を消費し、また定格が新品のバッテリにしか当て はまらないという点を考慮すると、実際の値では なく理論値ということになる。それでも、得られ た値によって限度がわかる。たとえば、72Whの バッテリしかない場合に、そのシステムで 250VA のパーソナルコンピュータを 1 時間動作させよう としても無理で、期待値は長くても17分、実際に は、12~15分と考えた方がよい。

しかし実際は、バックアップ電源システムは長 時間必要ではない。ほとんどの場合、バックアッ プ電源は、その目的からしてシステムを継続動作させるためのものではないため、5 分程度のバックアップ時間で十分だろう。むしろ、バックアップ電源システムは、作業内容を失わないでコンピュータをシャットダウンできるように設計することが重要である。シャットダウン作業は1~2 分もあれば済むだろう。

バックアップ電源システムが異なると、その出力波形も異なる。完全な波形は、商用電力の波形と同じ正弦波だが、正弦波は最も生成が困難な波形であるため、多くのバックアップ電源システムは、実際には、正弦波に似せて方形波を積み上げた"修正方形波"を生成している(前ページ図9-4参照)。

最も望ましくない波形は通常の方形波で、これはパーソナルコンピュータの電源のオーバヒートの原因になる。予備電源システムは短時間だけバッテリからコンピュータに電力を供給するため、予備電源システムからの出力波形は、無停止電源システムからの出力波形ほど重要ではない。

9.8 電力装置の認定

マシンのスイッチを入れたとたんに、内部の電気が稲光となって飛び出してあなたを床に投げ倒し、あなたの心臓は張り裂け魂は地獄に堕ち、同僚たちが倒れたあなたの周りに集まってきて、長い間自分のものにしたいと思っていたあなたの窓際の席が誰の手にわたるかということに思いを巡らすなどとは、誰も想像もしないだろう。あるいは、ワークステーションが火炎放射器や最新式の時限発射装置付き焼夷弾モロトフとなって、消防署長や熊のスモーキー*1に悪夢をもたらすなどとは思いもしないだろう。人々は、パーソナルコンピュータや様々な事務機器の安全性を信じきっている。しかし、現代の電子工学は電子機器の安全

性を保証しているわけではない。むしろ反対に、すべての電子機器は、ショックを与える電圧を何かしら持っている。パーソナルコンピュータの電源内部の電圧は、人間を感電死させ、オフィスに火を付けることさえできるのだ。

さらに悪いことに、このような起こりうる災疫に対する防御も、人々が思うほど完璧ではない。「保険」は何かが起こってから適用されるのであり、あなたが投げ飛ばされて両足を挫いたときには大した慰めにはならない。政府の監督官庁は、法律施行によるリコールや商品の販売停止処分には迅速に対処せず、災害が立て続けに発生して、商品に何か不良箇所があることが明らかになるまで手

^{*1} 訳注:米国森林保護局のマスコット。日本でいえば、"山火事注意"の看板に描かれている、"纏を持ったリス"のようなもの。

を打とうとしない。また、カラーテレビがあっという間にアパートを火だるまにした事故を覚えている人なら、評判のよい企業でさえ、危険がひそんでいる商品を販売する可能性があることがわかるだろう。

いくつかの試験機関や認定機関が、あなたが命を預ける機器の安全性を保証してくれる。たとえば、カナダ規格協会 (CSA)、Underwriters Laboratories 社(UL)、ドイツ電気技術者組合 (VDE) がある。中でも名が通っているのは Underwriters Laboratories 社であろう。この機関は米国で1世紀もの間活動を続けているからだ。CSA はカナダの、VDE はドイツのこれと同様の機関である。

「UL」マークは、Underwriters Laboratories の安全認定技術者が、商品の設計とサンプルを調査して、同研究所の厳格な安全規格に適合していることを認定したことを示すものである。加えて、パーソナルコンピュータの最初の安全性が製造途中で変更されることのないように、別の UL 技術者が、メーカーの組み立てラインからサンプルを無作為抽出して、抜き打ち検査を行っている。

Underwriters Laboratories

Underwriters Laboratories (UL) は政府の機関ではない。また、60年代の消費者保護運動組織の流れを汲むものでもない。Underwriters Laboratories は、独立系の非営利機関であり、安全技術のコンサルタントおよび認定機関としての働きを持った組織である。ただし、商品が市場に出る前に商品に欠陥がないかどうかを検査するサービスに対してメーカーから報酬を受けるという商行為を行っている。

政府の監督官庁とは異なり、ULの権限はその 規格と名声、それも長年にわたる名声によるもの である。この機関の創立は商用電力と同じくらい 古く、政府の規制や消費者団体、"Upton Sinclair のスキャンダル"などよりずっと歴史がある。

UL は、1894 年に William Henry Merrill によって創立され、当時は "Underwriters Electrial Bureau" と称して、主に誕生まもない電気産業の商品の安全試験を手がけていた。創立当初の人数は、Merrill、Edward Teall、W.S.Boyd の 3 名

であり、Chicago の消防署の上に事務所を構えていた。以後、同社は職員数もオフィス数も拡大を続け、ほかの分野にも進出した。現在の職員数は数千名、オフィスは Illinois 州 Northbrook、New York 州 Melville、North Carolina 州 Research Triangle Park、California 州 Santa Clara にそれぞれ1か所、合計4か所ある。現在では、パーソナルコンピュータから暖房器具、消火器に至るまで、安全性に係わるほとんどすべての商品を網羅して、その規格と試験方法を設定している。同機関は、1901年に正式に Underwriters Labora tories Inc. として法人組織となった。

Underwriters Laboratories 社(以下 UL 社)の 規格は、私企業の商品ではあるが、法的にも意味 を持っている。UL が開発した規格は、法令や法 規に取り入れられてきたし、将来も取り入れられ るであろう。

特にこの例が、パーソナルコンピュータ関連の 規格に見られる。米国の電気取締法は、多数の地 方自治体の法律に採用されているが、1991年7月1日をもって、通信ネットワークに電気的に接続する意図を持つすべての機器は、その目的に従って登録されなければならない、と規定している(米国電気法、800-51条、i項)。米国の法律を施行する自治体では、パーソナルコンピュータがモデムを内蔵し、それを電話回線に接続するつもりなら、パーソナルコンピュータを登録しなければならないわけである。そしてこの場合、パーソナルコンピュータに「ULラベル」が付いていれば、登録済みの証明になる。

UL社は政府の出先機関ではないため、自社の 規格を勝手に企業に強制することはできない。各 企業との協調と契約によって運営されている。UL ロゴを使用するには、企業は UL社と契約を締結 しなければならない。これにより、商標ロゴの使 用が許可されるのである。

ただし、UL社は、報酬の対価としてのみ商標ロゴの使用を許可するわけではない。ロゴの使用権を獲得するためには、企業は該当する UL規格に従うことに合意しなければならない。さらに重要なことは、企業は機器のサンプルを UL社に提出して、試験と規格適合の認定を受けなければな

らない。契約では、企業側に該当する規格に継続して準拠する義務を負わせ、UL社側にそのチェックを行う権利を付与している。UL社は、商品にロゴを許可することも保留することも可能で、連邦法の下でロゴの使用条件を強制できる。ULロゴは、UL社が取り扱うすべての品目に表示されることもありうる。ULロゴは性能規格ではなく安全規格に準拠していることを示すもので、品質は対象ではない。

コンピュータの安全規格

コンピュータ、そして電気機器全般でさえ、UL 社の唯一の品目ではなく、ましてや主要な品目で もない。同社は、建築素材から火災警報システム に至るまで、あらゆるものの規格を開発し、試験を 実施しているのだ。現在、パーソナルコンピュータ は、数ある UL 規格の中では基本的に「UL 1950 規格」に準拠しなければならない。

UL 1950 規格は、あらゆる情報技術機器に適用される。同規格は、1989年3月15日に公布され、1992年3月15日に発効したが、この日以後にULロゴを付けて販売される機器は同規格に適合していることを意味し、現在製造されているコンピュータ機器は、UL 1950の仕様に適合するかどうかを試験される。

1989 年以前の $10\sim15$ 年間、データ処理機器にはほかの規格が適用されていた。情報処理機器と事務機器には「UL 478」、オフィス用電子機器と事務機器には「UL 114」であった。UL 1950 は、その両方に代わる規格である。

新しい規格は勝手に作成されたわけではなく、 提携関係にない CSA、VDE など世界中で使用されている様々な規格を統一しようとする試みを提示している。メーカーは、ヨーロッパ、カナダ、および米国で使用される機器について、場合によっては相互に矛盾する複数の規格の代わりに、1つの規格の指針に従うことができるのである。

UL 1950 は、通常のデスクトップパーソナルコンピュータとその周辺機器 (ディスクドライブからプリンタまで)からメインフレームコンピュータまで、また、単純な卓上計算機や果てはタイプライタに至るまで、ありとあらゆるものを網羅し

ている。一方、爆発性気体など厳しい環境の中で 動作しなければならない産業用コンピュータ装置 には、これとは異なる要件を持つ特殊規格が適用 されている。

数センチもの厚さがある規格文書で、機器設計と製造のほぼすべての側面がカバーされており、 ULが適用する試験手順も記載されている。絶縁 や配線の状態から機械的強度、耐火性に至るまで 広範に網羅されており、商品のマークや識別に関 する事項もある。興味があるなら、著作権登録された刊行物を UL 社に直接注文できる。

UL 認定とUL 登録

電気機器に認定を与える上で、UL 社は厳密に 定義された3つの用語を使用する。登録、認定、 および分類である。それぞれに異なる規格があり、 扱う対象機器の種類さえ異なっている。

認定は、それ自体は完成品ではないが、完成品を製造するのに使用される電気部品や電気製品に付与される承認のことを指す。照明スイッチやコンピュータ電源が、UL認定を獲得する機器の代表である。UL認定を受けた装置は、Uと逆向きのR(recognition:認定の頭文字)の斜体を一体化した特別のシンボルマークを付けることを許可される。

登録は、販売される完成品 (家電製品、モニタ、コンピュータシステムユニットなど) に適用される。登録商品は、おなじみの UL 商標 (円の中に UL の文字) を付けることを許可される。

UL 登録商品は、UL 認定部品から製造されることが多いが、そのように義務付けられているわけではない。また、UL 認定部品を使用したからといって、完成品が自動的に UL 登録商品になるわけではない。UL 認定部品を使用すると、登録が容易になる程度のことである。

UL 登録が意味するところは、完成品を出荷時の形態で使用する分には安全であるということだ。 UL 認定製品は、正しく搭載して正しく使用する 分には安全である。登録を行うことで信頼性が高 まる。

UL 認定部品はそれ自体は安全であっても、完成品に組み込まれると危険物になる場合がある。

たとえば、熱を発生する電源は、適切な通風を欠いたゆとりのないケースに収容されると、オーバヒートを起こして火災の原因になりうる。電源がUL認定部品であっても、このような完成品はUL登録には至らないであろう。

自社のパーソナルコンピュータは UL 認定されている、と言う企業は間違っている。これは、ありえないからだ。ULは、完成品のコンピュータシステムには認定を付与しない。メーカーは、コンピュータが UL 認定部品で構成されており、登録は任意であって法的には UL 登録する必要はないのだから、自社コンピュータは登録の必要がないと主張するかもしれない。この主張は、法的には正確ではあるが、誤解を招く。

このような主張は、そのコンピュータが UL 登録されていないことを示し、完成品のシステムが UL の設計製造規格に適合していることは保証していないのである。パーソナルコンピュータメーカーに、その製品が UL 登録されているかとたずねると、はっきり「いいえ」とは言わずに、「システムは UL 認定部品を使用している」という返事をするかもしれない。

分類は、通常、発布されている特定の規格や法令に適合することを UL が試験したり、特定の危険性に関する評価を実施されていたり、特定の条件の下で動作する商品や工業製品のみに適用される。UL 分類された装置には特定のシンボルマークは付けないが、UL の名称と製品の分類の範囲を示す表示を付ける。

申請手順

製品にUL登録、認定、あるいは分類を獲得するには、何段階もの手順を踏まなければならない。まず、メーカーが自発的にUL社にコンタクトをとる。この第1段階は、単に書面か電話ですむ。次に、メーカーは、製品の説明書、写真、取り扱い説明書、パンフレットなど、機器がどのようなものかを示すのに役に立ちそうなものは何であれ添付して、正式な試験依頼書をULに送付する。

メーカーからの情報をもとに、UL 社は製品が 適合すべき規格はどれか、適合を保証するために 実施すべき試験は何かを決定し、必要なサンプル の個数と対価を含んだ試験要件を通知する。

メーカーは、合意する場合は申込み用紙、手付金、要求された個数のサンプルを UL 社に送付し、 UL 社は製品を調査、試験する。

製品が試験に合格すると、UL社は最終報告書を発行し、商品の登録通知をメーカーに送付する。 抜き打ち検査など、事後の手順の調整が両者の間 で行われる。こうして、メーカーは、製品、パン フレット、製品の広告に ULマークを使用できる ようになる。

製品が不合格になった場合、UL社はメーカーに結果を通知し、合格するために必要な修正を提案する。メーカーは製品に修正を施して、再度試験に臨むことができる。

UL社は、ある決まった方法で試験対象の製品に接する。通常は、試験手順は外観から始まって、 次第に内部に向かう形をとる。

パーソナルコンピュータの出発点は電源コードである。UL技術者は、電源コードがオーバヒートしないで十分な電流を流せ、踏みつけられても耐えるほどの強度があることを確認する。

次に、ケースに進む。ケースがプラスチックの場合は特に厳密にチェックされる。衝撃や高温など、通常の酷使状態に耐えなければならない。ケースが壊れると、破片でけがをしたり、人体が内部回路に触れる危険があるからだ。

可燃性もチェックされる。プラスチック製ケースは、火炎を伝える媒体になってはならない。また、有毒ガスを発生してはならない。この試験では、評価対象のパーソナルコンピュータに実際に点火する。

ケースの通風孔もチェックされる。ここにはいく つかのチェック項目がある。通風孔は、装置がオー バヒートしないように十分な気流を流せる大きさ がなければならない。その一方で、ユーザー(それ にユーザーの子供)が誤って指を入れて衝撃を受 けない程度に小さくなければならない。また、何 かが内部に入って短絡や火災を生じる位置にあっ てもいけない。

ケースの内部では、一次側(商用)電力が主な チェック項目である。UL社の技術者は、正常な動 作状態だけでなく、障害発生時にも電圧が存在す る個所をくまなくチェックする。電源と論理回路 の間の絶縁状態が検査され、たとえば、プリンタ を外すためにコネクタをつかんだときに、高電圧 による衝撃を受けないかどうかが確認される。

さらに機器は、最悪条件下の動作状態でどの程度 高温になるかを試験される。パーソナルコンピュー タの場合には、すべての拡張スロットとドライブ 収納部を埋め尽くして、最大負荷が電源と冷却シ ステムに加わるようにする。次に、パーソナルコ ンピュータ(またはほかの装置)を温度が安定する まで動作させた上で、内部温度が測定される。主 なチェック項目は、過剰な熱で火災に至ったり、衝 撃を与える可能性のある部品の品質低下を引き起 こすかどうかである。

コンセントから供給すべき確実な電気容量がわかるように、機器が実際に引き出す電流量も測定される。さらに、漏電試験が行われ、足をぬかるみに浸したままパーソナルコンピュータのケースによりかかっても、衝撃を与えるほどの電流が流れないことを確認する。加えて、絶縁電圧試験が行われ、機器の絶縁状態が電気的危害からユーザーを保護するのに十分であるかどうかを確認する。

UL 社の技術者は、機器の裏側と取り扱い説明書に記載された装置の定格を確認し、装置を接続する電源のタイプと、そこから取り出す電流量が、正しく記載されていることを確認する。ユーザーが機器を正しく使用するために提供されている情報が、少なくとも装置の電気特性に関しては、適切であることを確認する。

UL 社の試験は、メーカーが評価用に提出した 最初の1台のユニットで終わるわけではない。悪 質なメーカーが評価用に最高級のプロトタイプを 製作して送付し、実際の生産では使用できる中で 最低品質で最低価格の部品を使用することがあり えるからだ。したがって、メーカーは、生産する 機器に UL マークを付けるためには、組み立てラ インから出てくる全製品を事後試験対象に供する ことに合意しなければならない。

メーカーが製品ごとに行う事後試験には、生産 ライン絶縁電圧試験と連続接地試験が含まれる。 絶縁電圧試験では、ユニットの2本のプラグ(平 らなブレード)とアースピン(丸いピン)の間に電 圧を加える。この試験に合格すると、製造工程ではユニットのケースに触れた場合に衝撃電圧を生じるような、短絡回路を生み出す配線の損傷がないことが保証される。接地試験では、電源コードのアースピンが、ユーザーが触れる可能性のあるケースのあらゆる部分に実際に接続されていることを確認する。これによって、すべてのユニットのケースが、適切に接地されていることが保証される。

UL社との契約の下で、メーカーは年間4回の 抜き打ち検査に応じて生産設備をUL社に公開す る。事前の連絡もなく、UL社の技術者はドアを ノックして、生産中の機器を見て、組み立てライ ンから抽出したユニットを試験したい旨を告げる のだ。

UL 登録で分れるシステム

UL登録がなされているかいないかによって、業界の大手メーカーのコンピュータと、ガレージから工場に移ったばかりの低価格薄利多売メーカーのコンピュータは2つに分かれる。コンパックやIBMなど大手メーカー製のコンピュータは、すべてUL登録されているが、メールオーダで購入できるシステムのほとんどは登録されていない。

このように分かれる第一の理由としては、古株のメーカーは、その主要客先である大企業が、購入製品に対して UL 登録の保証を要求することが多いことを知っていることがあげられる。またほかにも、ほとんどの中小企業が、UL 認定がそもそも何であるか、それを得るにはどうすればよいかを知らないという理由もあるだろう。それに、最低価格帯のパーソナルコンピュータに UL ラベルがないことに対する、恐らく最も説得力のある理由は、UL 登録にかかる費用が高いということだろう。

コンピュータメーカーは、UL 認定作業の全費 用を負担しなければならない。この費用は、実質 的には、UL 社から安全技術のノウハウの提供を 受ける対価である。

UL 社は、コンピュータを分解して、それがどのように作られているか、その構造が安全にどのような影響を与えるかを検査するエンジニアの作業

時間に対して料金を請求する。さらに、メーカーはコンピュータシステムの試験費用も負担しなければならない。エンジニアの作業時間に加えて、世界中のUL社の活動全体を運営する費用の一部は、登録費用や事後検査費用にも振り分けられているはずだ。

製品が登録に至るまでに掛かる正確な UL の料金は、製品がどのようなものであるかということと、どの契約でも同じように、交渉によって変わる。UL 社の刊行物によると、すべての調査には同一の課金スケジュールが適用される。しかしながら、製品によっては、コンサルタント作業も必要になるだろう。ある周辺機器メーカーは、1 つの製品を UL 社の評価用に提出するためにかかる平均費用は、3,000 ドル~5,000 ドルと報告している。

しかし、これはまだ序の口である。この料金は、技術的観点から完全に安全な製品を想定している。 しかし、UL社は、製品の検査試験の後で、製品 の安全性を改善する提案や、登録を獲得するため にメーカーが従わなければならない提案を行うこ とがある。改善は、どれも製品の開発費用を増加 させる。

さらに、メーカーは、ときとして破壊に至る試験による評価を受けるために、UL社に機器を提出しなければならない。たとえば、直接手で扱う装置は、板張りの床に1メートルの高さから落とされる落下試験を行われる。落下試験の後、製品は動作する必要はないが安全でなければならない。障害シミュレーション試験、加熱試験、点火試験まで行われる。評価用のサンプルは、試験後に返送されてきたときには、粉々に砕けていないまでも、販売することはもちろんできない。

UL 登録されている周辺機器のさるメーカーによると、評価用サンプルの費用は UL 認定作業の一部として計上するそうだ。Pentium ベースのパーソナルコンピュータを製造する小企業では、この費用もばかにならない。

PC Magazine が取材した企業によると、以上をすべてひっくるめると、完成品のコンピュータシステムを UL 登録するまでにかかる費用は最低でも10,000 ドルで、元々の設計が安全性の点から不適切な場合、費用はうなぎのぼりに上昇するとのことである。小型システムのベンダの中には、製品の開発全体にさえそれほどの予算を投資していないところもあるだろう。あるいは、今日の競争の激しい低価格帯のパーソナルコンピュータ市場では、これは数ヶ月分もの利益に匹敵する金額かもしれない。

しかし、多くのメーカーにとって UL 登録費用は問題ではない。これは、パーソナルコンピュータにとって、マイクロプロセッサ同様に必要不可欠なものなのだ。ULのラベルは製品の市場に通用する。製品の欠陥訴訟に勝つことを保証するわけではないにしても、UL 登録は、製品の設計が世に認められた安全規格に適合した証拠にはなるのだ。

UL登録のない製品を買うべきかどうかは、個人的な判断である。確かに、UL登録のない機器が、登録装置と同じくらい安全なこともある。それでも、ULというロゴは、それを付けた製品が独立機関の手によって安全性を試験されたことを保証しており、これは、めったにない金で買える安心の1つである。

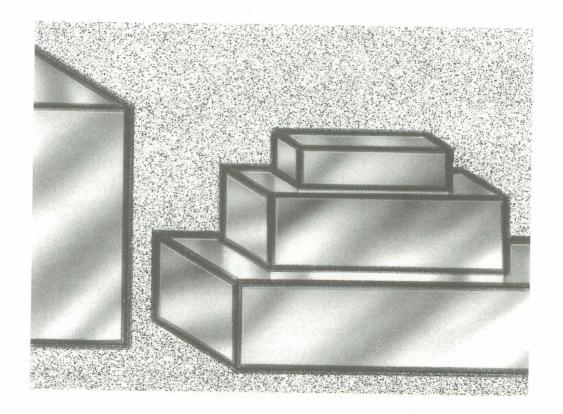
が表現の実施でした。また、またでは、10名 のまででは、10名とのでは

CALL TO SECRETARIA DE CONTROL DE LA CONTROL DE LA CONTROL DE CONTROL DECENTROL DE CONTROL DECENTROL DE CONTROL DE CONTROL

2011年度の表現の表現を終っております。 A 2011年度である。 第四日 ではできまり、 では ではびかれる時に、 はいできません こともできません。 のではないできません。 これではないできません。 のではないできません。 これではないできません。 ではないできません。 これではないできません。

第10章

ケース



パーソナルコンピュータ全体をひとつにまとめているのがケースである。しかし、その役目は単なる容器にとどまらない。ケースは、回路基板や大容量記憶装置をしっかり固定する土台である。そして同時に、外界のあらゆる障害から、繊細な回路を機構的および電気的に保護し、また逆に、電波干渉や危険電圧といったコンピュータ内部に存在する障害から、外部環境およびユーザーを守るものである。ケースにはコンピュータとその用途に合わせて様々なサイズ、形、機能がある。

ケースはパーソナルコンピュータに物理的な姿を与えるものだ。そしてさらに、コンピュータの外枠であり、容器であり、繊細な電子部品に安全な動作環境を提供するシールドでもある。ケースは物理的な危険、つまりボードの動作に害を及ぼすような、回路基板を湾曲させたり、圧力をかけたり、ときには壊しさえする外部の力から回路基板を保護している。また同時に、オフィスに特有のクリップ、ホチキスの針、レターオープナー、缶飲料のプルタグ、義歯等の異物がマシン内部に入り込んで電気ショートが発生しないように防いでもいる。さらに、おもに強い電界のような、目に見えない危険からもコンピュータを守っている。強い電界はシステムのデータ処理を妨害する可能性のあるノイズを誘発し、さらにこのノイズによって、システムをクラッシュに至らしめるエラーが発生する場合もあるのだ。

ケースという保護シールドは、2つの方向に向かって進むものを同時に遮断している。1つは前述のように、外部からコンピュータ内部に入り込もうとする危険であり、もう1つは、コンピュータ内部から外へ向かって飛び出そうとするものだ。保護シールドであるケースは、これをコンピュータ内部に留めておくという役割を果たしている。コンピュータの働きの中で、特に2つの点が外界に対して問題となりうる。1つはコンピュータ内部の電気電圧で、不意にこれに触れると感電してしまう恐れがある。もう1つはコンピュータ回路を流れる高周波の電気信号で、これはラジオ放送のように放射されており、テレビから航空機の航路無線に至るまで、あらゆる電波の受信を妨害する可能性を持っている。

ケースにはもっと普通の役目もある。コンピュータに接続したい装置の設置場所を提供することだ。ドライブベイによって、周辺装置のひとつである大容量記憶装置を、制御回路のすぐ近くに設置することができる。さらに、ケースによって拡張ボードはしっかり固定され、システムのほかの部分と同様に機構的にも電気的にも保護される。

またケースは、乱雑な机上からモニタを適切な視線の高さへ固定する、世界中で最も高価なモニタスタンドにもなる。

コンピュータのケースには、必要な機能がすべて集約されているのだ。コンピュータの内部には、熱などのように外に出さなければならないものがあり、外部には、キーボードの信号やコンセントの電源などのように、中に取り込む必要のあるものがある。さらに、コンピュータケースは、システムをその上に組み立てた場合の強固な基盤とならなければならない。ディスクドライブの安定した土台となり、電子部品を安全に保護しなければならない。総合すれば、単純そうにみえる "ケース" だが、思った以上に複雑なのである。

10.1 機構

ケースの機能のひとつは機構的なもので、現実の物体として目で見て、手で触れて確認できるものだ。コンピュータを使用するときには、ケースは机の上や床の一部、あるいは使用者の膝を占有する。ケースの大きさには一定の規定があり、もう1つ装置を追加するときには小さすぎると感じるが、それでいてあらためて置く場所を見つけようとすると大きすぎる感じを受ける。ケースの形も一定で、バックアップテープを挿入するスロットのように、周辺装置すべてが、機能的に最も適切な所に配置されている。形と色もパーソナルコンピュータのスタイルを構成する一要素であり、コンピュータの外観がうんざりするほど似たり依ったりしている中で、システムに特徴を持たせる。

コンピュータはほかのオフィス機器同様に(それ以上ということはなくても)、機能がその形に表れている。コンピュータの現在の形は、コンピュータの中に搭載したいもの(基本的には、コンピュータに性能と能力を加えるすべての拡張オプション)を搭載できるように考えられている。ケースは、パーソナルコンピュータとして必要不可欠なフロッピーディスク、ハードディスク、光ディスクドライブ、テープドライブのすべてに十分なスペースを提供し、さらにユーザーが必要に応じて拡張ボードを搭載できるだけの、十分な大きさがあることも必要条件だ。

ボードおよびドライブの大きさには規定がある。この規定はかなり昔に設定されたもので、今後も変わることはない。当然、ケースはこれらが必要とする大きさを踏まえて設計されなければならない。しかしケースを作るということは、オプションに合わせて箱のようなスペースを割り当てるという単純なものではない。ケースには、電源やスピーカーのような、システムに必須の構成部品のスペースがあるだけではなく、回路基板や周辺装置に冷たい新鮮な空気を運ぶために、マシン内部のすべての部品が、その周りを空気が自由に流れるように配置する必要もあるのだ。

とはいえ、必ずしもすべてのメーカーが、このような配慮をしてケースを作っているわけではない。ただ単に、プラスチックケースや板金加工ケースの専門メーカーから、適当な箱を選んでいるだけのコンピュータメーカーも(大部分とはいわないが)多い。ケースメーカーの深慮に、まぐれ当たりの要素も加わって、結果としては、ケースとコンピュータ内部の合体はうまくいき、ケースを販売をしたケースメーカーも、安いケースを手に入れたコンピュータメーカーも、そしてそのシステムを購入したユーザーも、すべてが満足している。

それでも、パーソナルコンピュータを選んだり、 自分専用のコンピュータシステムを入れるケース を購入する際には、ユーザーは様々な中から選択 しなければならないことには変わりない。正しい 選択を行うために、そして、自分のコンピュータ が全体として自分のニーズに合い、今後も変わら ずそうあり続けることを確信できるようにするに は、どのような選択肢があるのか知っておく必要 がある。

PC/XTケース

ケースについて最初に検討を始めなければならないのは、オリジナルの IBM PC とその従兄弟にあたる XT の金属ケースである。このケースによって、その後のすべてのパーソナルコンピュータのパターンが決まり、パーソナルコンピュータはほとんど例外なく、PC/XT のレイアウトのバリエーションの1つを使用している。PC と XT のケースは、外見的には同じでも実際には異なるもので、両者の違いは拡張スロットの間隔と数にある(PC は1インチ間隔で5つのスロットがあり、XT は 0.8 インチ間隔で8つのスロットがある)。

このオリジナルのケースの基本設計は、機能と適合性に基づいてなされている。ケース前面には、当時流通していた小型ディスク(5.25 インチ)用のドライブ2台分のスペースがあり、そのドライブの後ろには電源が、そしてケース左の残りの部分

にはシステムボードが取り付けられるようになっている。ケースの高さは、フルハイトドライブと拡張ボードが十分収まる高さに設定されている。

偶然にも、ケースは機能本位なものにできあがった。コンピュータのフットプリント(机上に必要な占有面積)は幅21インチ、奥行き17インチとなり、高さは拡張ボードの寸法に加えてその下に3/8インチの余裕を加えて、5.5インチとなった。

コンピュータの将来の変化に対応できるように、 組み立て方法は簡単で安価なものが考えられた。 その結果、ケースの底はコンピュータのシャシー (システムの重要な全機械部品がねじ止めされる 台またはフレーム)になり、上部はさらに簡単で、 両サイドが内側に巻き込まれた平らなスチール板 となった。この設計では、スチール製の底パネル、 フロントパネル、バックパネルはみな1つのシャ シーでできている。これは強固であるだけでなく、 どの面からも電波が漏れないように防ぐのに有効 だ。プラスチックの前面パネルは、唯一各ケース にオリジナリティを持たせられる部分である。

シャシーと蓋はリアパネルでつながっているが、早くもこの部分がこの設計の中で最も弱いことが明らかになった。もともと IBM は、上部と底部を固定し、シールドの役目を果たす全部の面を電気的につなげるため、3本のねじしか使っていなかった。これについては、ねじを2本加えて5本にすることで、機構的にも電気的にもより確実にした。

これ以外にも、PC/XTケース設計では、ディスクドライブの取り付けに欠点があった。フルハイトのフロッピーディスクドライブは、スチール製のトレイで形成されている2つのベイのどちらかに挿入する。ところがこの場合、もう一方のベイにドライブを搭載すると、2つのドライブの間にはねじ止めできるようなスペースがなくなってしまうため、ドライブは片側しか固定することができないのである。このため、ドライブの取り付けが不安定で、IBMはXTのハードディスクを固定するために、ケースの底からねじ止めをしなければならなかった。さらに、このケースにはハーフハイトドライブ用のベイがなかった。このマシンが登場した当時は、ハーフハイトドライブが流

通することはしばらくないと考えられるような状況であったことは理解できるが、ユーザーがこのシステムをアップグレードしようとした場合に、これが大きな悩みの種となった。

ATケース

IBM は自社のパーソナルコンピュータを改良 し、ATでは新しいケース設計によって、これら の問題を取り除いた。この設計は、ほぼ10年間 にわたって業界の標準として存在している。シャ シーとそれに合わせた蓋(どちらもスチール製)と プラスチックのフロントパネル(およびマシンの後 部にはまる取り外しの簡単なプラスチックパネル) という設計の基礎的な部分は、基本的に XT のも のが継承された。当時としては進んだ設計だった ATは、前より大きなシステムボードが必要で、こ れに合わせてシステムユニットは2インチ広げら れ(23×17インチになった)、高さは1インチ増え た。これにより、前より長い拡張ボードと、大容 量記憶装置用のベイに3つのハーフハイトドライ ブが搭載できるようになった。また、容量は多い が、そのぶん高さのある電源用のスペースも確保 できた。ただし、大型のシステムボードを入れる ために、電源の土台部分は切り取らなければなら なかった。

PC 同様、大容量記憶装置用べイは、2 台分が横に並んで搭載されているが、IBM は内側(左側)のベイを、メディア交換用のフロントパネルが必要ないハードディスク用とした。大型のシステムボードはドライブベイの下にも回路用のスペースが必要なため、この内側のベイの端は底から1インチ以上離れている必要があり、このベイに搭載できるのはフルハイトドライブ1台だけに限られた。一方、外側(右側)のベイはハーフハイトドライブ3台分のスペースがある。

ATのケースにおける真の革新は、ドライブの 実装方法である。大容量記憶装置は、ドライブベイ の両側の溝にスライドさせる強固な取り付けレー ルで両サイドを固定されるようになり、おかげで、 PCの片側固定式のように、出荷時にがたがた動 くようなことがなくなった。

新設計によって、ドライブの着脱も比較的容易

になったが、それでも手が小さいかよほど皮膚が 丈夫でない限り、ドライブの後ろに手を伸ばして 様々なケーブルをつないだりはずしたりするとき には、手を傷つけかねなかった。取り付けレール は、シャシーのフロントパネルにねじ留めされた 2つのブラケットで固定されている。ブラケット はほとんどがL型であるが、U型のもの(左右の べイの間にぴったりはまる)も一部ある。どちら のタイプのブラケットの場合でも、ブラケットの 後方へ突き出た1本もしくは2本のアームが、取 り付けレールを溝に押し付けて固定している。

ATのドライブを引き出すには、取り付けレールを固定している2つのブラケットを取り外してから、ドライブを少し前方にスライドさせるだけでよい。ドライブの後ろに適当なゆとりがあれば、ケーブル(グランド線を含む)を抜くことができる。電源ケーブルがないドライブの場合は、前方にまっすぐに引き出してシャシーから取り出せる。

ドライブの取り付けは、この逆の手順になる。ドライブをベイにスライドさせる前に、まず、ドライブを動かす途中にケーブルがないことを確認した上で、ドライブを3分の2程度スライドさせ、ケーブルと接続してから、止まるまで後ろに押し込む。ブラケットの1つをねじ穴に合うようにかぶせ、アームがドライブレールの端に付くように固定して、ねじで留める。同様にしてもう1つのブラケットをはめると、ドライブがしっかり固定される。

ATのケースには、勝手に他人がアクセスできないような機構も付いている。フロントパネルの左側のインジケータパネルにシリンダ式のキーがあり、これでケースにカバーをロックできる(同時にキーボードも電気的にロックされる)。

IBMはATのケースについてこれ以上の開発は行わなかったが、様々な互換機がATのケースの細部を改良している。ほとんどのAT互換機は、ケースの中のドライブの位置すべてに対して、フロントパネルに取り出し口を加えた。また、ほとんどのマシンの内部ベイは、2台のハーフハイトドライブか1台のフルハイトドライブのどちらでも搭載できるように区切られている。

小型化

2、3インチというと、さほどでもないように思われるかもしれないが、実際、XTとATのこの差は、両者の全体的な外観を大きく変えている。XTは "机上に置く"といったいい方で表わすことができるが、ATは "机を占領する"といったような感じである。しかし、ATのこの大きさは、一方で長所をもたらしている。第一に、より多くの回路と機能を1つにした、より大きな拡張ボードを搭載できるようになったということがある。

互換機メーカーの中には、素晴らしい折衷案を 思い付いたところがある。つまり、占有面積が XT サイズで高さが AT サイズのケースである。こう してできたのが「ミニ AT」である。水平方向のサ イズやシステムボードのサイズを始めとする内部 構造は、XT規格と同じである点からいえば、"長 型 XT"ケースと呼んだほうがよいだろうか。AT ケースと同じなのは、拡張スロットの領域とドラ イブベイの高さだけである。この設計の長所は、 単に占有スペースが少なくてすむということだけ だ。一方短所は、ATよりサイズが小さくなったこ とにより、拡張ボードの領域が削られたことであ る。このため、1本か2本スロットをなくすか、短 いスロットにして切り詰めている場合がある。内 部はきつくなった上、全体的に節約できたスペー スは実際はわずかである。

小型化の次なる段階は小型フットプリント PCで、このケースは、AT用の大きな拡張ボードが搭載できるように、高さは ATと同じになっているが、XTより縦横の長さが縮小されている。このケースでも、しわ寄せは拡張部分にきており、スロットは8本から5本または6本に減っている。また、内部のドライブベイにも縮小化の影響が及んでおり、小型フットプリントマシンの中には、ベイを完全に取り去ったものと、代わりにベイを4分の1にして、3.5インチのハードディスクしか搭載できないようにしているものがある(これらは端に並べられているのが一般的)。

今日の小さなドライブを使えば、ベイをさらに縮小することが可能で、したがってケースも小さくできる。現在のデスクトップマシンの中で最小のものは、3.5 インチのリムーバブルメディアドラ

イブを、内部に隠れるように搭載されるもう1つ の 3.5 インチハードディスクベイに並べて配置し ているのが一般的だ。このマシンは、小型ドライブ の特徴を利用して、ケースの小型化を実現してい るわけである。また、長い AT サイズの拡張ボー ドを搭載できるスペースを確保しながら、ケース の高さを削るために、オプションを端へ移動させ ている。ボードを、スロットを縦に並べるさせる 代わりに、横に並べるという方法も採られている。 システムボードがケースに対して水平に搭載され る点は変わりなく、ATタイプの拡張スロットが1 本付いているのが一般的である。そして、特殊な 拡張ボード(ライザーボード)が、片側にある追加 の AT バススロットコネクタによって縦に接続さ れ、これによって通常の拡張ボード(一般に3枚) がシステムボードに平行に搭載できる。

このように、縮小設計にはスペースと拡張性に 制約が生じるが、それ以外にも、水平に搭載される 拡張ボードによって別の欠点も生じる。このボー ド自身によって、ボード上の部品を冷却する空気 の正常な対流が妨げられるのである。また、ボー ドが接近して搭載されることにより、下のボード がストーブの働きをして、上のボードを熱してし まう。ただ、(システムボードに統合される機能が 多くなることにより)搭載される拡張ボードが少な くなり、また、LSI技術の進歩によって、消費電 力および回路によって生成される熱が少なくなる に従い、この問題は小さくなる。とはいえ、この ようなマシンを持っている人は、拡張ボードの中 で最も搭載された部品の多いものを一番上に持っ てきて、ほかのボードが温まらないようにしたほ うがよいだろう。

IBMは、最初のPS/2マシンの導入と共に、ダウンサイジングの基本思想を受け入れた。より小型のドライブを採用し、大きな古い拡張ボードを捨てることによって、自社のそびえ立つようなデスクトップマシンを、もっと低いマシンに縮小化したのである。XTボードより1インチ短いマイクロチャネル拡張ボードを使うことによって、マイクロチャネルPS/2デスクトップマシンは、その分高さを低くすることができた。また、スロットの数を3本に減らすことで(拡張ボードの向き

は縦のまま)、空気の対流による冷却効果の点で 譲歩することなく、システムの占有面積の縮小を はかっている。

ただし最近の PS/2 は、拡張性のニーズの変化に伴いケースを大きくしている。IBM は、PS/2 においては、古い 5.25 インチ形式のドライブ捨てても差し支えないと考えたのである。これはもちろん、CD ROM がマルチメディアシステムにとって不可欠なものとなり、IBM は、CD ROM や同様のドライブを収容するために、PS/2 のケース(モデル 57 や 90 など)を大きくせざるをえなかったということでもある。

ラップトップとノートブック

コンピュータの縮小化における1つの究極点が ノートパソコンである。これは、キーボードと画 面の大きさは操作性を維持しながら(キーボード は手で操作でき、画面は表示を見て問題ない大き さ)、構成部品が許す限り最小限に縮小したコン ピュータである。ここまでコンピュータを小型化 するということは、すべてが何らかの譲歩をしな ければならないということであり、システムのほ ぼすべての部分に妥協の跡が認められる。

この妥協が最も少ないのが大容量記憶装置である。これは、ノートパソコンやこれよりはるかに 小さいサイズのパソコン用として、小型で軽量な ドライブに対する需要が、フロッピーやハードディスクの小型化の大きな推進力となったためである。ドライブメーカーは驚異的な成功をおさめ、ドライブのサイズを縮小する一方で容量を増やし、性能と信頼性を向上させてきた。

小型化のために行われた最大の妥協は、ユーザーインターフェイスに表われている。コンピュータをポータブルにするということは、人間が運ぶことができるものにするということである。つまり、ポータブルというからには、ロープでひとまとめにして体に括りつけるようなものではなく、手頃な1つのパッケージに収められたものでなくてはならないのだ。残念ながら、ユーザーインターフェイスには、使い勝手を捨てなければ小型化できない面がいくつかある。より小型で、より軽量なコンピュータの要求に合わせて、人間の手のほうを

小さくするなどというのは無理な話で、したがって、キーボードは、キーボードに求められる最適な大きさ以下には縮小できない。しかし、過剰に見えるもの、たとえば、ファンクションキーのまわりのスペースやいくつかのキーなどは削ってしまいたい思いがメーカーに残る。

ノートパソコンメーカーは、長さや幅だけでなく、キーストロークとキートップの高さを削ることによって、キーボード全体の厚さも減らした。キートップの高さを変えても目立たないが、キーストロークの変化は、タイピングの感触と使い勝手に大きな影響を与える。これらはほとんどユーザーの好みだが、フルサイズのマシンと比べたとき、小型コンピュータの小さく切り詰められたキーボードに対する不満は大きいはずだ。

ディスプレイもまた妥協の対象だ。分厚いブラ ウン管ディスプレイに代わってフラットスクリーン が使用されているが、このフラットスクリーンの 大きさはノートパソコンのケースの大きさによっ て制限される。これよりも重要なのは、小型シス テムは AT バスの拡張ボードと互換性がないこと である。ボード1枚でラップトップマシンのそれ 以外の部分と同じだけの電力を消費し、結果とし てバッテリ寿命を相応分縮めてしまうフルサイズ の拡張ボードは、電力節約の考えとは相容れない ものである。このため、ほとんどのラップトップ パソコンおよびほぼすべてのノートパソコンは、 従来の拡張ボードを搭載することはできない。そ の代わりにこれらのマシンは、専用の拡張装置に 対応したり、PCMCIA 規格に準拠したクレジット カードサイズの拡張モジュールをサポートしたり している。

ラップトップのケースでは、内部へのアクセス 方法が大きな懸案事項になる。システムのメモリ を拡張しようという予定がある人は、マシンを完 全に分解しなくても、メモリモジュールかメモリ カードを増設できるようなラップトップマシンが 欲しいだろう。取り扱いが最も簡単なマシンでは、 アクセスパネルの裏にスロットを搭載していて、 フロッピーディスクと同じくらい簡単に、そこに メモリカードをスライドして装着できる。ほかに、 メモリモジュール増設用のアクセス蓋が付いてい

るものもある。これらの拡張方法の唯一の欠点は、 マシンがサポートしているメモリの拡張容量であ る。一般に 1M バイトから 8M バイトがサポート されており、現在のアプリケーションにはこの容 量で十分だが、プログラマが徹夜して作り上げた ような大容量のアプリケーションには足りない。 多くのノートブックコンピュータ、特に通信販売 会社の自社ブランドを付けた低価格のモデルは、 メモリモジュール用のソケットにアクセスするに は、ユーザーがキーボードをはずさなければなら ない。これだけでも技能と忍耐を要する手間のか かる作業であるにもかかわらず、中には、拡張ソ ケットにアクセスするために、ディスプレイ部分 まではずさなければならないモデルも少ないなが らある。ノートブックやラップトップシステムを 拡張する計画のある人は、サポートされているメ モリの拡張容量と RAM の増設方法をチェックす る必要があるだろう。

ラップトップマシンやノートパソコンのキー設計の特徴は携帯性である。これらのマシンでは、人間工学的に容認できる範囲で、可能な限り小型軽量なものが求められる。旧式のラップトップマシンには取っ手が内蔵されていたが、新しいマシンでは無用のものとなっている。重さが5ポンド以下、ときにはプリンタ用紙の束より軽いことさえある現在のマシンでは、取っ手がなくても問題はない。そのまま手で持っても、鞄の中に入れても運べる大きさであり重さなのだ。

かつては、最も頑丈なラップトップコンピュータのケースは金属製(多くの場合、強いわりに軽量なマグネシウム合金が使用された)だったが、現在ではほぼすべてのマシンが、耐衝撃性の高いプラスチックを使用している。一般にこれらのマシンは、日常的な酷使に耐えうる強さは持っているが、机から床への落下に対しては、時計やカメラ、その他の精密機器ほどの耐性はない。ケース内部の一部に金属板が使われているのを目にすることがあるだろうが、この金属板は落下による衝撃の影響を抑えるためのものではなく、放射を制限範囲内におさめるために追加されているものである。要するに、ラップトップやノートパソコンは頑丈に作られてはいるが、乱暴な扱いが命取りになる

のはほかのビジネスツールと同じである。

タワー型ケース

パーソナルコンピュータにおいて、ノートブックやパームトップマシンの方向性のまったく反対側にあるのが「タワー型システム」で、論理回路が許す限り大きく設計されている。このマシンは床の上に立てるように設計されているため、机上でマシンが占有するスペースを縮小する必要はない。代わりに、拡張性を第一に考え、システムボードの標準設計が許す限り、最大限に多くの拡張ボードとドライブベイを搭載できるようにしている。

初めてパーソナルコンピュータを縦に実装したのは AT マシンである。それまでの横置き実装方法を再考して、従来の AT を縦にして収容できる形のケースを作ったのである。床置きタイプとして設計されたマシンの中で、最初に主流なったのはタワー型の PS/2 で、モデル 60、80 がある。互換機がタワー型を採用したのは、広いスペースを確保しているタワー型マシンのドライブ機構を利用するためだった。タワー型マシンの中で、8 個もしくはそれ以上のドライブスペースがあるモデルは、数 G バイトクラスの容量を持つネットワークサーバとして使用されるようになった。

コンピュータの構成部品は、どのような向きで 実装しても何らトラブルは発生しない。電気回路 はどちらが上でどちらが下になっても構わないからだ。ただし、ハードディスク (特に古いものでサイズの大きいモデル) は、特にそれが水平方向の状態でローレベルフォーマットされている場合、立て搭載すると支障を生じることがある。頑丈な 旧式のヘッド機構の重さで、ヘッドがディスクトラックの中心から外れてしまい、ディスクの読み 出しエラーが頻発するようになってしまうのである。このトラブルの解決法としては、使用すると きと同じ縦方向の状態でローレベルフォーマット するのが簡単である。

タワー型のケースのもう1つの欠点は冷却だ。 ほとんどのタワー型マシンは拡張ボードが水平に 並んでおり、ボードが1枚1枚重なっているとこ ろは、小型フットプリントマシンとまったく同じ である。このため、装置の冷却を行う空気の対流 に配慮しなければ、下に搭載された電力消費の大きいボードが、上に重なっているボードを熱してしまうことになる。IBMは、タワー型 PS/2マシンでは、この問題に対しては対策済みで、拡張ボードを通る空気の流れを発生させるプラスチックの溝を作り込んでいる。もっと良いタワー型システムになると、補助冷却ファンが付いている。

内部に搭載する周辺装置用のスペースが大きいことや、床にわずかな空きスペースがありさえすれば設置できるという柔軟性の点でタワー型マシンは優れている。また、大容量記憶装置の搭載機構については不満がある人もいるだろう。タワー型マシンの中には、頼りない実装手段しか用意されていないものや、ドライブを取り付けるために、パーツを組み合わせるという複雑なパズルを解くような作業を必要とするものもある。ドライブの実装方法については、たとえばATのレール機構のような、簡単で確実な方法を採用したシステムが望まれる。

そのほかのケース

IBM 互換機では、独創的なケース設計はあまり行われていない。IBM の確かな設計を元にしているのだから、これはこれでよい方法である。とはいえ、過去には、風変わりで、デザイン的には素晴らしくても、非実用的な設計が現われたこともある。

ミニタワー型マシンは、"大きな小エビ"のような撞着語法(両立しない語を並べて逆に効果をあげようとする語法)を利用したマシンである。タワー型という物理的に最大容量を持つように設計されたものを、敢えて再び4分の1に小型化しているのだ。ミニタワー型マシンの良い点は、ケース用の材料が少なくてすむということと、本来のタワー型マシンの問題を超えるような欠点は生じないことである。とはいえ、大容量記憶装置の追加容量がないにもかかわらず、標準の高さのタワー型マシンと同じ床スペースが必要である。要するに、機能よりも形を優先させたマシンということだ。

一方、フリップトップ式ケースは、標準の PC/XTの構成を模倣しているが、前方にスラ イドさせる蓋の代わりに、ハッチ方式で持ち上げ るカバーを使用したものである。この設計は、蓋を持ち上げるだけで簡単にコンピュータの中にアクセスできるという点では、素晴らしい機構のように思われるが、実際には思ったほどよいものでもない。マシンの中にアクセスするには、マシンの上にあるものを下ろさなければならないという点で、ほかと変わりがないからだ。さらには、拡

張スロットに差し込んである周辺装置のいくつかは、ピポット式に回転する蓋の後ろ部分が、プリンタや CRT ケーブルのプラグにあたってしまうため、プラグを抜かなければならないという不便さもある。フリップトップ式ケースは、結局は煩わしいだけのものである。

10.2 装置の取り付け

パーソナルコンピュータを構成する装置は、マシンのシャシーにぴったり合うものでなければならないだけでなく、安全確実に取り付けられなければならない。当然それ以外の部品も、マシンに触れるやいなやばらばらになってしまうことなどないように、しかるべき方法でしっかり設置しなければならない。

シャシーへの確実な取り付けが必要な装置の中で、最も重要なものは電源である。ほとんどの場合、電源の取り付けで問題が起こるようなことはまずない。電源のほとんどは、適当な箇所にねじ留めする(4箇所)だけの標準化された箱である(電源の設置方法については第9章で触れた)。

ただし、大きさと構造上の両方の理由から、か ならずしもすべての電源がすべてのケースにぴっ たり入るわけではないことに注意しなければなら ない。ほとんどの電源は IBM スタイルに準拠して おり、赤い大きな入切スイッチが本体右側の延長 ブラケットに付いている。大抵のシステムのケー ス、特に XT や AT の規格に準拠したケースは、 このスイッチにアクセスできるように、右後部に 切り込みを入れている。ただし、中にはリアパネ ルにスイッチが付いた電源を使用するように設計 されているケースもいくつかある。通常、一種類 のケースしか販売していないメーカーは、それに 合う電源も販売している(その逆もある)。しか し、ケースもしくは電源を取り替えようとしてい る人は注意が必要だ。PC/XT と AT の電源では サイズが異なるため、互いに一方のケースにはき

ちんと収まらないことを忘れてはならない。これ については事前に知っていれば問題は起こらない だろう。

大容量記憶装置は、ケースに合わせた考慮がな されている。したがって、完全なコンピュータシス テムを購入したときは、インターフェイスやコン トローラなどについてあれこれ心配する必要はな い。必要な作業はすべてメーカー側がすでに行っ ており、最適な動作を行うようにすべて調整済み である。それでも、コンピュータの性能を向上さ せるために、新たに大容量記憶装置を追加したり、 故障したものを交換したりする際には、いくつか の条件がある。つまり、新たに搭載しようとしてい るドライブが、電気的にそのシステムに適合して いなければならないだけでなく、物理的にもケー スに合ったものでなければならない。結局のとこ ろ、いずれの装置にしても、取り付けるには、最 低限、しかるべき場所に物理的に収まらなければ ならないのである。

フォームファクタ

ディスクドライブにも様々な厚さと幅のものがある。ドライブの大きさの基本単位はフォームファクタである。フォームファクタとして使用される値は、単に特定のメディアを扱う標準的なドライブの大きさにすぎない。8インチから1.3インチまで、数種類のフォームファクタはパーソナルコンピュータに関する話の中ではよく出てくるが、この中のほとんどがいろいろな厚さの種類がある。

フルサイズドライブは、フォームファクタをの 基準になるものであり、最大の容積を占めるもの で、通常は、第一世代のマシンで使用されている のを目にする。フルサイズドライブの大きさが採 用された理由については、特にこれといったもの はないようで、恐らく設計の下図を書く日の機構 エンジニアの気分に任せたのではないかと思われ る。ドライブが合理的なサイズであり、ほかのメー カーがこれを利用したいと思うほど適切にできて いることが分かれば、ほかのメーカーもその製品 のサイズで自社の製品を作るようになり、それが 標準となるのだ。

ドライブの厚さ

いずれのハードウェアもその第二世代では、当然 のごとくサイズの縮小化が試みられる。製造コス トの削減、製造技術の向上と製造経験の蓄積、そし て、より小さなスペースに、より多くのものを入れ たいという必然的な要求、これらが一緒になって縮 小化を押し進めるのである。ドライブの縮小化の 過程では、5.25 インチや 3.5 インチのフォームファ クタのものを始めとして、様々な小型ドライブが 生まれた。5.25 インチのドライブのパッケージは、 オリジナルのフルハイトドライブのパッケージよ りわずかに大きい。ほかに、2/3ハイト、1/2ハ イト、1/3ハイト、1/4ハイトのドライブが作ら れたこともある。3.5 インチのフォームファクタの ドライブの場合は、サイズはもっと実際的に、つ まり、実物の厚さをインチ単位で測定した値で表 わされる。オリジナルの3.5インチドライブをフ ルハイトと称することもあるが、通常は約1.6イ ンチの厚さである。次に広く使用されたドライブ は、厚さが1インチちょうどのものだった。1イ ンチ以下の厚さでは、0.6インチといった小さいも のが、いくつかのドライブで使用されている。

しかし、3.5 インチドライブがその面積を縮小する前には、2.5 インチ、1.8 インチ、1.3 インチといった、もっと小さいフォームファクタが実用化された。2.5 インチのドライブは基本的にはノートパソコン用に設計されたものである。さらに小さなドライブはパームトップコンピュータに合わせたもので、クレジットカードサイズの拡張ボー

ド上に載せることもできる。このような3.5 インチ以下のドライブを使った製品では、ドライブをベースしてそれに合わせてシステム(あるいは、少なくともケースやほかのパッケージ部分)を設計するという方法がとられていることは、特筆すべき点であろう。近い将来、こういった小型の製品が、デスクトップマシンに使用されるのも、めずらしいことではなくなるだろう。

小型ドライブに関する重要な法則は、"大は小を 兼ねる"、つまり、小さなドライブは、それより大 きいフォームファクタ用に設計されているドライ ブベイに合わせて、調節できるどいうことである。 たとえば、5.25 インチのドライブベイに 3.5 イン チのドライブを合わせるキットがあり、それがド ライブの付属品になっていることも多い。

ドライブの取り付け

ドライブベイに大容量記憶装置を取り付けるのは、実際きわめて簡単である。大抵のディスクドライブやテープドライブは、ドライブを固定するねじ穴が、底と両サイドに数個付いており、取り付けはこれらの穴にねじを差して数回しめるだけでよい。したがってドライブの取り付けにはほんの数分しかかからない。ドライブをベイに取り付けたり外したりするには、ねじ回しの使い方され分かれば十分である。

しかし、問題はドライブベイで、これはそれほど単純ではない。ドライブを取り付けるには、ねじを通す穴のほかにも、ドライブベイにアクセスしなければならない。システムの中には、不慣れなユーザーにとって難解なものもある。

PC/XT 型ドライブベイ

オリジナルの PC や XT、およびその互換機のドライブベイは、比較的簡単な(実際それほどの効果はないとしても)取り付けトレイをベースにしている。トレイの両側面は上に曲がっており、そこには、5.25 インチフルハイトの大容量記憶装置の両サイドの2個のねじ穴に合わせて、同様に取り付け穴があいている。ベイに入れたドライブの左側にアクセスする際には、短いねじ回しを使って、相当器用にやっても手が傷ついてしまうのに

耐えるか、内部の拡張カードをすべて、もしくは ほとんど取り外す必要がある。

この作業で難しいのは、ドライブのねじ穴とべ イの取り付け穴もしくはスロットを合わせること だ。コンピュータのフロントパネルとドライブの 前面を揃えなければならないし、また、スロット からはずれないように頭の大きいねじ(金物屋で 入手する場合は"バインダーヘッドねじ"が最もよ い)を使う必要もある。

先に触れたように、ドライブのサイドの2本のねじでは、特に薄い金属板でできた安いケースの場合、適切な実装の安全性は得られない。テープカートリッジドライブをこのようなベイにスライドさせると、テープを入れるたびにベイ全体を0.5インチほど折ってしまうことになるだろう。IBM

は実装を確実にするために、XT用ハードディスクドライブには余分にねじを追加しているので、これを使うとよい。方法は、まず、取り付けたいドライブの底のねじ穴の1つに合わせてベイに印を付け、取り付けトレイの底にそれに合わせた穴をあける。そして、その位置に合わせて、取り付けトレイの底までねじ(およびねじ回し)が通る大きさの穴をケースの底にもあければよい。

ほかにもう1つ問題が生じるのは、IBMのPCやXTのドライブベイにハーフハイトドライブを取り付ける場合である。各スロットにハーフハイトドライブを1台ずつ取り付けるには、取り付け用の穴を使って、ドライブの上に余ったスペースは、ハーフハイトパネルでふさぐだけでよい。

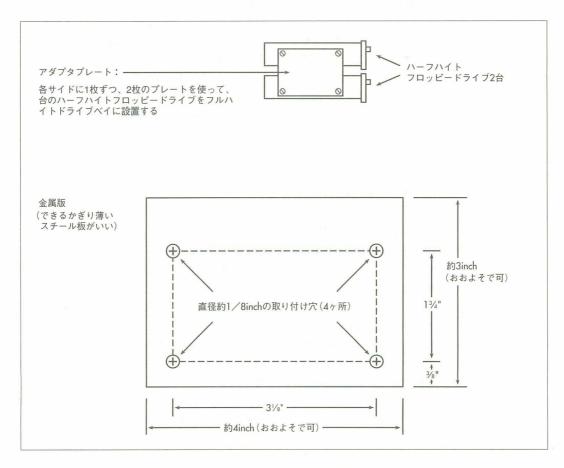


図 10-1 ハーフハイトドライブ用アダプタプレート

ところが、フルハイトベイに2台のハーフハイトドライブを取り付けようとすると、ねじ穴の位置が合わず、ねじが空回りすることになる。ほとんどの互換機では、ハーフハイトドライブを重ねて2台取り付けられるように、取り付けトレイの各サイドにドライブ取り付け用の穴が2組みあるが、これに対しIBMは1組みの穴しか用意しておらず、各ベイの上側を切り落としているため、ユーザーは簡単に自分で穴をあけることができない。

これを解決するには、2枚のハーフハイト用アダプタプレートを作ればよい。アダプタプレートは、基本的にはたくさんの溝か穴の付いた、ただの薄いスチール板で、これを使って2台のハーフハイトドライブをつなげて1つのユニットにして、フルハイトドライブベイに取り付けるのである。前ページ図10-1に簡単に作れるアダプタプレートの一例を示した。

これらのアダプタプレートを使ってドライブを取り付けるのは想像以上に難しい。2台のドライブをつなげるのも、つなげたユニット全体をドライブベイにスライドするのも簡単ではない。ねじの頭(ときにはプレート自体の厚さも)によって、ドライブの幅が大きくなってしまい、フロントパネルの口からスライドさせることができなくなるのである。

したがってその場合は、次の手順で取り付けを 行わなければならない。まず、2台のハーフハイ トドライブを、トレイに付ける側の反対側だけア ダプタプレートでつなげる。それを、そのままド ライブベイへスライドする。

ドライブを適当な位置に合わせ、固定しない状態のままで、必要なケーブルをすべてドライブにつなぐ。ケーブルをすべて差し込んだら、もう1枚のアダプタプレートをドライブとべイの間に滑り込ませ、ベイの2つの穴からねじを差して、プレートと下のドライブをねじ留めする。最後に上のドライブをねじ留めして終わりである。

AT 型ドライブベイ

AT で開発された改良型のドライブ取り付け方

法では、もうひとつ機構が追加される。取り付け レールである。この取り付けレールの使用によっ て問題が解決されると同時に、新たな問題も生ま れた。つまり、良い面として、多少の地震にも耐 えうる真に安全確実な実装システムが実現された 一方で、レールの取り付け過程に問題があり、後 にならないと気付かないような手順の間違いを犯 しやすく、ドライブに何度もレールを留めたりは ずしたりしなければならない。

レールの取り付けに関する第一の問題はレール自身にある。IBM は自社のレール設計を変えずに、大容量記憶装置用の補助シャシーを持つタワー型ATを含めて、すべてのATケースに一貫して同じ設計を使用してきたが、これに倣わなかったメーカーもある。IBM の実装方法を寸法までそっくりまねたAT互換ケースがたくさんある一方で、特に大手メーカー(Compaqなど)は、自社独自のレール設計を採用している。図10-2は、標準のAT用の取り付けレールと、Compaqが使用しているレールの寸法図である。

本来のAT式のレールを見つけるのは簡単である。ドライブ装置のベンダーの多くが、AT式のレールを製品の付属品としていたり、事前にAT式レールを装置に取り付けてからユーザーに送っているからだ。互換機のレールは多種多様で、正確なサイズが知りたければ、コンピュータメーカーもしくは、パーツの品揃えが完全な指定販売店に連絡しなければならなことになる。

AT型のコンピュータメーカーの多くは、各べ イに実際にドライブを取り付けるかどうかに関係 なく、自社の製品のすべてのドライブベイにレー ルを取り付けることによって、この問題を軽減し ている。

AT式のレールにも様々なものがある。正式なIBMのレールは、ドライブの右側用のものと左側用のものは同じではない。取り付け穴は2つしかない。アフターマーケットのレールは、穴もしくはスロットが4つか8つ付いている場合があり、さらに、両端を四角にして完全な左右対称形にしているものがある。

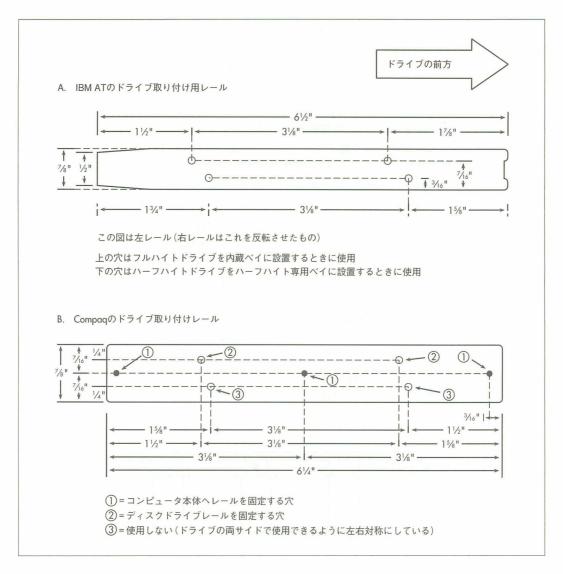


図 10-2 IBM AT と Compag のドライブ取り付け用レール

これらのレールは、ドライブの左右どちらのサイドでも使用できるようにという意図で作られたもので、素晴らしい設計配慮であるといえるが、同時にこのように穴が多くなると、適切な位置にドライブを設置できる穴はどれかを見つけるのが大変になってくる。

本来の非対称形のIBMのレールの場合、ドライブの後部側にくるレールの端が細くなっており、これでレールの正しい向きを判別する。レールが正しい向きになっていれば、レールを留めるねじ

は、上下2組みの取り付け穴のうち下のほうの穴に入る。IBM AT 式以外のレールでは、ドライブの側面の低いほうの穴に合わせて、レールの低いほうの穴(細いほうがドライブの後部にくる場合)を使用するのが一般的な決まりになっている。ただし、違った位置に穴を設けている変ったレールもある。新しいドライブにレールを取り付ける場合は、取り付け用ブラケットを固定してケースの蓋を閉めてしまう前に、ドライブが正しい位置に揃っているか確認したほうがよいだろう。

ドライブの取り付け方法は次のとおりである。 レールをドライブに取り付けたらべイにスライド させる。ドライブをベイの後ろまで押し込み、マ シンのパネルに合った適切な高さと奥行きになっ ているか確認する。よければ、少し引き出して全 部の電気接続を行い、最終的に収まるべき位置ま でドライブ押し戻す。AT型のケースの場合、レー ルとドライブを固定するために、フロントパネル のブラケットにねじ留めする。互換ケースの中に は、ブラケットがレール自体の一部になっている ものもある。これらはマシンのフロントパネルに 直接付けられる。

PS/2のベイ

IBM は、PS/2シリーズのコンピュータで装置の取り付け方法を刷新し、どの装置も道具を使わずに取り付け、取り外しができるようにした。ほとんどのシステムの5.25インチドライブがATのレール式方法を使用し続けているのに対し、3.5インチのフォームファクタに準じたドライブは、プ

ラスチックの特殊なスレッド(そりのようなもの) の上に取り付ける方法をとっている。

IBM 式のドライブスレッドは、3.5 インチドライブの底にねじ留めするプラスチックの台座で、ガイドレールに沿ってドライブベイへスライドされ、スレッドの一部であるラッチによって決まった位置にパチンとはめ込まれる。IBM 設計はスレッドをドライブのシャシーと一体化してもいいようになっているが、これまでのところドライブメーカーにこの設計は受け入れられていない。図10-3 に、IBM 式のドライブスレッドを示す。

スレッドの付け外しを行うためにドライブベイにアクセスするには、前面のパネルをはずさなければらない。スレッドは、パネルに一体化されているプラスチックの留め具で固定されている。フロントパネルは、前から 0.5 インチほどの位置にある継ぎ目のところから取り外す。後は指以外の道具は一切使わずにスレッドを引き出すことができる。

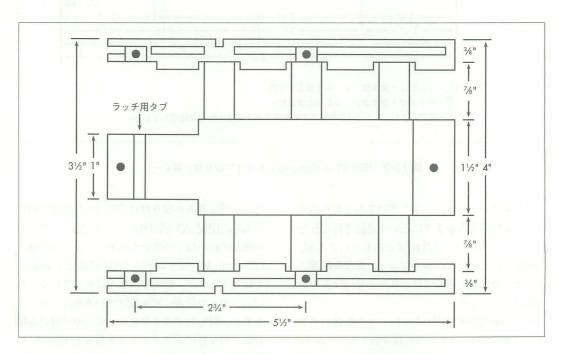


図 10-3 PS/2 の 3.5 インチハードディスク取り付け用スレッド (概寸)

べイの後部にある "フローティング" コネクタ(自由に動くコネクタ)は、自動的にドライブのエッジコネクタとつながる。このコネクタは、信号を伝えるほかにも、ドライブに電力を供給するので、別に電力用のコネクタはいらない。

ドライブがベイに完全に押し込まれると、ドライブの底のラッチが締まりドライブが固定される。ドライブを取り外すには、このラッチをはずさなければならないが、それにはドライブの下の中央にあるタブを持ち上げるだけでよい。タブを持ち上げてラッチをはずしながら、ドライブを前方に強く引き出す。最初にベイの後ろのコネクタからドライブをはずしておけば、後は簡単かつスムーズにドライブは引き出せる。

5.25 インチのドライブが搭載されるタワー型 PS/2 システムでは、AT 式のレールシステムが 継承されているが、レールが各ドライブに付けられている場合は、道具がなくても取り付けできるような対応がされている(図 10-4 参照)。このシステムでは、AT に使用されている簡単なスチールの溝に代わり、ドライブを固定するために頑丈なケージを使う。ケージには1台もしくは2台の

ドライブが収まり、そのうちの1台はフロントパネルから顔がみえるようになっている。固定はねじの締め付けによって行われている。ねじは、大きな青いひなぎくのような形をしたプラスチックのつまみを回して締めるのだが、このつまみは、道具がなくても手で回せるように考えられたものである。

1台用のシステムにドライブを取り付けるには、ケージの真ん中の開口部分からレールの付いたドライブを下におろすだけでいい。この時、ドライブは後部のコネクタがシャシーの中央に最も近いところで終わるような向きにする。ケージの中にドライブをおろしたら、止まるまで後ろに押して、ひなぎく型のつまみを締める。

2 台用のドライブシステムの取り付け方法はもう少し難しい。というのは、1 台のドライブが邪魔になって、シャシーの中央の開口部分から次の1 台を入れることができなくなるからだ。このため、シャシーの後部に置くドライブを最初にケージに入れて、続いて2台目のドライブをシャシーの前面の開いた部分からケージにスライドすることになる。

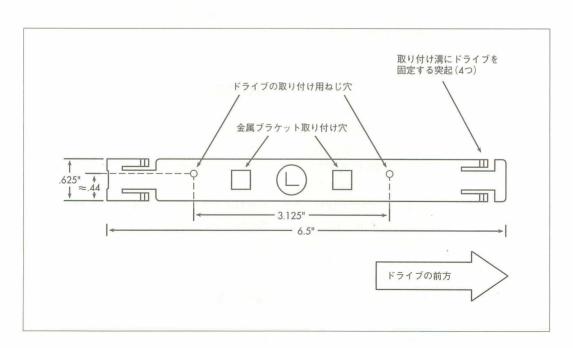


図 10-4 タワー型コンピュータ用の内部ハードディスクレール

この場合、アクセスできるようにフロントパネルのベゼル (化粧蓋) をはずせばよい。前面に取り付けられたドライブは、後部のユニットに合わせた位置に固定される。

そのほかのベイ

ほかの互換システムは独自の道を歩んだ。そのほとんどは、直接取り付け方式か着脱式補助べイを使用する方法のどちらかのバリエーションである。

直接取り付け方式は、その名のとおりで、最初のPCのように、ドライブはマシン本体のベイに直接ねじで留める方法である。違いは、ほとんどの互換機のほうが、最近のドライブサイズと互換性かあるという点である。これらはディスクのフォームファクタの基本的なバリエーションに対応している。この方法の唯一のこつは、ドライブ固定用

のねじにアクセスする方法を見つけることである。

しかし、いくつかのケースではアクセスが不可能なものがある。たとえば、3.5 インチドライブ用のベイが、ベイの底にアクセスできるようになっていない従来の大きなベイの上か下に押し込まれていることがある。このようなシステムでは、ドライブが直接取り付けられる可動式の補助ベイにドライブを取り付けて、もっと簡単に手の届く留め具で所定の場所に固定する。もう1つのバリエーションに、ALR タワー型コンピュータで使用されているドライブトレイがある。ドライブは底のねじ穴を使ってトレイへ取り付けられ、そのまま本体の側面にねじ留めされる。ケースの反対側のカバープレートは、各トレイの反対側を支えるために差し込まれる。

10.3 冷却

熱は、電流の流れによって必然的に生じる副産物である。すべての回路(超電導体でできていれば別だが)を流れる電気の一部は、回路につきものの電気抵抗によって熱に変わる。また、コンピュータによって消費される電気のほとんどすべてが、最終的には熱に変わる。

コンピュータの保護(および収容)を目的としたケースの内部では、こうして生じた熱が温度を上昇させている。熱は半導体回路の最大の敵である。回路の寿命を大きく縮めたり、致命的な障害を引き起こしたりする。したがって、過度に生じた熱に対しては、何らかの回避策を取らなければならない。実際には、ほとんどのパーソナルコンピュータでは、発生した熱が、半導体回路にとって直ちに致命傷となるわけではない。たとえば、ほとんどのマイクロプロセッサは、自分自身あるいはコンピュータ内部のほかの構成部品が、取り返しのつかないダメージを受ける前に、シャットダウンするようになっている(あるいはコンピュータのシャットダウンを促すエラーを生成するだけの場

合もある)。とはいえ、熱は、回路の老朽化を早め、回路の構成部品の寿命を縮める可能性がある。 これに対しシステムを冷却させておけば、寿命を 延ばすことができるのである。

自然対流

コンピュータを冷却しながら動作させるには、 熱を逃すためにケースに穴をあけるという方法が ひとつある。ただしこの穴は、中にねずみやミル クセーキ等の異物が入り込まない程度の大きさに しなければならない。こうして穴をあけておけば、 自然対流が発生して、密度の低い空気は上昇し、 代わりにそこへ穴をから密度の濃い冷たい空気が 流れ込み、これによってケースからは余分な熱エ ネルギーが押し出される。

強制冷却

残念ながら、IBM 規格のコンピュータ(いくつかのラップトップは除く)では、自然対流による放熱量を超える熱を生成してしまう。このため、こ

れらのマシンには熱を回路から追い出す強制冷却 の手段が必要である。この場合に使用されるのが ファンである。

一般にコンピュータ用のファンは電源内部に組 み込まれていて、空気が電源内部およびコンピュー タの双方を循環するようにしている。空気が循環 するようにファンは冷たい空気を中に吸い込み、 熱くなった空気を外に吹き出している。

しかし、初期のPCの冷却システムは誤った使われ方をされていた。ファンは主に電源内部の熱を生成する回路を冷却するために使われ、コンピュータ内部の冷却は付随的に行われるような設計になっていたのである。さらに、たまたまシステムの設計が、冷たい空気のほとんどをフロッピーディスクドライブのスロットから吸い込むようになってしまっていたため、ドライブにメディアが入っていても、一緒に埃などの空気中に漂っている汚れも引き入れてしまっていた。

XTは、PCよりも消費電力が大きいにもかかわらず、通気はPCよりも悪かった。またXTではXT独自の問題も発生した。拡張カードを始めとしてコンピュータのあらゆる部分の空気の流れが不十分で(実際には各部分の配置が悪すぎたため)、容認できるレベルにマシン全体の温度を保つことができなかったのである。このため、XT以降のモデルは改良され、シャシー前面の底部の一部の一連の通気孔は廃止された。この孔がなくなったことにより、システムユニット全体の空気の循環が良くなり、構成部品を冷却することが可能になった。

しかし残念ながら、大部分のコンピュータメーカーは、XTシステムほど進歩していない冷却システムを使っている。こうしたメーカーは、せいぜい熱を放射する面積が大きくなるように、マイクロプロセッサにヒートシンクを装着しているだけである。大部分のメーカーは現在でも、システムに冷却した空気を流す仕組みとしては、電源のファンを使用するだけなのである。

進んだ冷却システム

中には、冷却システムについて配慮されている コンピュータユニットもある。IBM のタワー型 PS/2 はその典型的な例で、冷たい空気が最も必要な場所へ流れるようになっている。また、電源のファンで発生する空気の流れを補うために、別のファンを追加しているメーカーもわずかにある。

しかし、大部分のシステムでは、冷却システムはまだまだ改良の余地がある。たとえばコンピュータの後部パネルに補助ファンを付けたり、補強ファンの付いた電源が利用できる。これらはまさにシステムユニットの空気循環を促進して、ユニット内部の温度を下げ、構成部品の寿命を延長できる。ただし、この追加の冷却装置によって、コンピュータ内部の構成部品の寿命が伸びているかどうかを示す、信頼できるデータはない。いずれにしても、考えられる限りの付属品をすべてマシンに搭載するのでなければ、このような装置は安心感を与えるという目的以外には必要ないだろう。

一方、いずれのコンピュータでも、冷却システムの空気の通り道を遮ることは致命的である。これによりケース内部は回復できないほどの高温になってしまう。したがって、空気の循環に支障をきたすような狭いところ(コンピュータがぴったり収まる机の引き出や棚の中など)にコンピュータを置いたり、ケースの冷却スロットや通風孔をふさがないように注意しなければならない。

ファンの故障

電源内部のファンは必需品であり、決して贅沢 品ではない。ファンが作動しないとコンピュータ は始めはうまく動作していても、じきに内部の温 度が上昇するに伴い、動作が不安定になってくる。 コンピュータ、特に電源部は、加熱によって破滅 的な障害さえ発生することがある。

ファンの故障の兆候はかすかだが、必ず気がつく。たとえば、システムから聞こえる雑音が変わったり、部品の温度が安全動作温度を超えると何かが焼けるようなにおいがしてくるのである。

いずれかの兆候に気がついたら、空気が通常コンピュータから出てくる (PC および AT では、中にファンが見える大きな丸い開口部がある) 部分の近くに手を置いてみるとよい。風が感じられなければ、ファンが動いていないのは確実だ。

ファンの故障によって緊急事態が発生する。ファ

ンが故障したら、すぐに作業を中断してマシンを 停止しなければならない。少しの間ならシステム を安全に使用できるとはいえ、なるべく早くファンや電源を交換したほうがよい。

10.4 無線周波数の放射

熱以外にも電気回路からは電磁波が放射されている。電気エネルギーの流れがあるところからは、必ず電磁波が放射されている。ラジオやテレビの放送局は、地方にまで届くように、アンテナを通して何kWものエネルギーを送り出し、ラジオやテレビはそのエネルギーを引き込んで、人々を楽しませたり、ときには不快にしたりしているのである。

無線周波数干渉

規模が小さいとはいえ、すべてのコンピュータ 内部の電気回路にも、これと同様の作用がある。 コンピュータに電気が投入された瞬間、電気回路 は電磁エネルギーを放射し、また、処理がピーク に達したときにも、同様に放射が行われる。問題 なのは、コンピュータ回路からは、ラジオ局やテ レビ局、航空管制システム、ある頭文字の政府機 関が壁に埋めこんだ盗聴器などに使用される周波 数の範囲を含む、様々な幅の周波数が放射される ことである。これらのコンピュータ内部の放射波 は、しかるべき抑制措置をとらないと、そばにあ るラジオばかりでなく、近隣への電波干渉も引き 起こす。コンピュータが発するこの無線のような 信号は、無線周波数干渉 (RFI) と呼ばれるものを 生成する。これは電磁波スペクトルにあるほかの 信号を干渉するためにこのように呼ばれている。

FCC 規格

コンピュータから、"2 live Crew"や"George Carlin"が話す、電波には乗せられないような 7 つの単語が発せられるわけではなくても、連邦通信委員会 (FCC) は、コンピュータから放送されることに耳をそばだてている。政府はパーソナルコンピュータが放つ電波に厳格な規制を設けているが、

この規制はあまりにも厳しすぎるため、多くのコンピュータメーカーはそれを守ることができない。 その結果、何千台ものパーソナルコンピュータが毎年不法に販売されており、あなたが次に購入するマシンがその1つである可能性は大いにありうる。

誰も、パーソナルコンピュータを無線送信機だ とは思っていないかもしれないが、実はそうなの だ。すべての電気機器と同様に、コンピュータも 電磁波を放射しているのである。パーソナルコン ピュータの動作によって、ラジオやテレビが傍受 できる範囲の周波数の電磁波が発生する。もちろ ん、この無線放射は意図的なものではない。パー ソナルコンピュータ内部のきわめて小さな論理信 号を含んだ移動する電子の流れが電磁波を生み出 している。電流が流れ出したり、停止したり、方 向転換すると電磁波が発生し、これによって空間 にラジオ波が放射されるのである(安定した電流 は静電界を作り出す)。このような信号の意図的 でない特性は、FCCにとっては問題ない。放送に 入り込むものは、ほとんどすべて委員会の管轄範 囲になっている。事実、取り締まりの対象となる 信号は、音波の場合は聞くことのできる9,000Hz の周波数で始まり、光波として見ることができる 300GHzの周波数にまで至るのである。

委員会はコンピュータから放射される信号と同種のものに適用する規則および規制を管轄する組織を作った。この組織の会議によって規則が強化されたりする。実際、この組織の力によって、どのコンピュータがいつ売れるか、また、どのコンピュータが価格的に市場性のない製品として設計者を悩ますのかといったことが左右されることがある。アメリカで販売されているほとんどの周辺装置は、この規則や規制に準拠しなければならない。

それにもかかわらず、この規則が管理している

内容、達成しようとしている事柄、なぜ誰もがこれに配慮しなければならないのかという理由について知っている人は(多くのコンピュータメーカーや主変機器メーカーを含めて)ほとんどいない。FCCの権限を無視して、多くのコンピュータメーカーがこの規則に準拠していないマシンを販売している。このようなコンピュータを販売することは、アメリカにおいては非合法な行為である。

FCC 規則に配慮し、これに従っているコンピュータ設計者にとって、規則に準拠することはくぐり抜けるべき最後の輪であり、その労作が販売店の棚に落ち着く前の最終試験である。同時に、この規則に準拠していることの証明を受けることは、購入者にも影響を与える。証明が必要なために、新技術を採用したコンピュータや周辺装置を購入者が手にするのがその分遅くなるのである。コンピュータ製品は証明を受ける前に販売の準備が整っていなければならないが、証明には6~8週間かかるため、自動的に最新の製品が実際に市場に出るまでには、1ヶ月半以上の遅れが生じるわけだ。

一方、これに対し、証明の利点はわずかのよう に思われる。たとえば、FCC の証明はコンピュー タ製品が安全であることを保証するものであはな い。安全性については、FCC の関知するところで はないのだ。FCCの規格を満たしている製品で も、人体に有害な信号を放射したり、得体の知れ ない毒物によって、オフィスを汚染する可能性も あるわけだ。また、FCC規制は、そのコンピュー タ製品が、ラジオやテレビの受信を絶対妨害しな いということを保証しているわけでもない(この ため、きちんと保証されている機器のマニュアル には、コンピュータが引き起こす干渉を取り除く ための方法が記載されている)。FCCの証明が示 しているのは、特定の製品が放送サービス――た とえば、テレビや無線(セルラーホン、緊急ラジオ サービス、航空機が使用する航空無線機器を含む) ――に干渉する一定のレベルを超えないというこ とだけである。この証明はたいしたものではない ように思われるが、このレベルをクリアすること は、コンピュータメーカー側にとってはしばしば 大きな頭痛の種であり、コンピュータユーザーお よびその近隣の人は、感謝すべき意味のあること

なのである。

干渉は、FCC 存在の根本にある最も重要な根拠 のひとつだった。委員会は1934年に組織された が、そもそもは、1920年代に初期の放送会社たち が起こした混乱を整理するのが目的だった。彼ら は好き勝手な時間、場所、方法で信号を送信して いたため、いくつかの場所でひどい混線が発生し、 ラジオが放送局の番組をうまく区別して受信でき ないような状態になった。FCCはこの混乱に秩序 をもたらすために組織され、無線局間の干渉を防 止する厳格な規定を作成したのである。無線を使 用するサービスが増えるにつれ、FCCはそうした サービスに対しても、信号が互いに干渉しあうこ とを防ぐための規則を制定した。これは、聞ける ことを制限するということではなく、そこに届い ているものがはっきりと聞こえることを保証する ためのものである。最初 FCC は、放送を意図し た信号にのみ関与していたが、高周波数で動作す るコンピュータ機器の出現により、関与すべき無 線干渉の新しい源が生まれた。コンピュータのク ロック周波数は、今や通信周波数の中間点に位置 し、テレビや FM の周波数帯域へ接近しつつある (2、3の古いコンピュータは、AM 周波数帯域の 周波数で動作するが、IBM 標準のパーソナルコン ピュータは、それほど下がらない)。

潜在的なラジオやテレビの干渉については、そ れほど気にしなくてもよいように思われる。ネッ トワークテレビの番組の質と比べれば、干渉は改 善されたものといえるだろう。しかし、FCC がコ ンピュータの放射を自らの監督下に置いて規制を 作り出したときに、情況はより深刻になった。当時 (1970年代後半)、すでにコンピュータなどの機器 の放射は生命を脅かすほどの問題ではないとして も、少なくとも危険性はあると証明されつつあっ た。たとえば、FCCによると、西海岸のいくつか の州の警察は、自分達の無線通信が、コンピュー タ回路をベースにしていた、コインで遊ぶビデオ ゲーム機から妨害を受けていることを報告してい る。また、東海岸の空港で航空通信妨害の発信源 をたどったところ、1マイル離れたところにある ドラッグストアの、コンピュータに類似した電子 キャッシュレジスターだったということもあった。

マニア用のコンピュータや携帯型の電卓は、すでに市場で流通しており、これらは擬似無線信号を発生することが知られていた。また、Radio Shackのの「TRS-80」は、テレビの受信障害を発生することで有名だった。要するに、当時、たとえ1980年代のパーソナルコンピュータブームが予想できなかったとしても、高周波のデジタル論理回路の利用が増えることで、情況が悪くなることは確実だったのである。

パーソナルコンピュータの放射を規制する最初の試みの中で、FCC においてある特別な規則が検討され、1979 年 10 月に発布された。これがあまり知られてはいないが、「パート 15 サブパート J」

というもので、1989年までに発売された数百万台にのぼるパーソナルコンピュータには、その認定ステッカーが貼られている。「FCCパート 15」は、1989年3月には書き換えられて「サブパート B」ができ、コンピュータに加えて同様の干渉を発生するほかの周辺機器も一緒に扱われるようになった。この新しい規定は、不注意に無線信号を発するすべての電子機器、FCCが"非意図的放射体"と呼ぶ機器に適用される。これに対し、通信などの目的で無線信号を意図的に発する装置があり、テレビ局からガレージのドア用のリモコンに至るまで、すべての"意図的放射体"も当然 FCC の管理下に置かれている。

10.5 規制範囲

新しい FCC 規則は、パーソナルコンピュータに加えて、メインフレームからポケット計算機まで、大小を問わずすべてのコンピュータシステムを網羅している。さらに、これにパーソナルコンピュータの周辺機器も含まれる。実際、ほとんどの周辺機器はコンピュータシステムと同じ認定手続きをパスしなければならない。FCC 規則の中で、認定が必要な周辺機器と必要でないものが明確に定義されている。

FCCによれば、周辺機器にはパーソナルコンピュータの機能を向上させるために使用される内部装置、外部装置の両方が含まれる。外部装置の場合、コンピュータと一緒に販売されるのでなければ、それ自身の認定が必要で、コンピュータと一緒に販売される場合は、認定もコンピュータと一緒に受けなければならない。内部装置の場合は、コンピュータの速度と性能に作用しないもの、および外部ケーブルに接続しないものに限り、認定の必要はない。たとえば、シリアル通信ボードやグラフィックボードの場合は、外部装置と接続するので認定が必要ということになる。アップグレードボードであるターボボードはコンピュータのスピードと放射を潜在的に増加させうるので、これ

も認定が必要だろう。一方、メモリ専用の拡張ボードやハードディスクコントローラには認定は必要ないわけだ。

通常、工場でのコンピュータの製造時にしか使用されないコンピュータ部品は、「仕掛品」のようなものと見なされ、認定は必要ない。この仕掛品が組み立てられて、一般に販売されるパーソナルコンピュータになったときに、全体として認定を受けるのである。

ケース、マザーボード、電源は特に仕掛品と見なされるもので、FCCの認定は必要ないし、実際認定を受けることもできない。コンピュータマザーボードは、そのままでは認定の必要はないが、電源と共にケースにインストールされると、全体として認定を受けなければならなくなる。IBMを始めとするいくつかの組織は、マザーボード単体で認定を受けられるよう働きかけをしているが、本書を書いている現時点ではその努力は報われていない。

FCC 認定の確認に必要なテスト機材は、平均的なコンピュータマニアには手の届かないものであり、また、マニアたちが丹精込めて作り上げたコンピュータの影響は、もしあったとしてごくわずか

なものであることを、FCC 規則は認識しており、このため、自家製のパーソナルコンピュータについては、認定について特例を認めている。この特例が適用されるのは、家庭で組み立てられたパーソナルコンピュータの中で、次の3つの条件を満たすものである。ひとつに、商品として販売されないこと、それから、キットを組み立てたものでないこと、そして、完全に個人使用のもので、製造台数が5台以下であるということだ。これに対し、市販のコンピュータキットは FCC 認定の対象である。

市販のパーソナルコンピュータ機器の中にも、FCC 認定の対象から特別に除外されているものがある。低電力装置になると干渉を放射する可能性が低くなるため、高周波数回路の消費電力が6ナノW(1ナノW=10億万分の1W)以下の装置は、認定対象から除外されているのである。現在のマ

イクロプロセッサはすべて、これよりはるかに電力を消費する。たとえば、50MHzの486マイクロプロセッサは約9Wで、これは消費電力量の最低条件の約10億万倍である。

また、極めて低い周波数で動作する装置は、認定を要する FCC 規則に準拠しなくてもよい。9KHz 以下の周波数で動作する装置は、FCC ではデジタル装置の範囲から除外されているため、低速なシステムは心配には及ばない。有効な制限範囲は実際にはもっと高く、AC 電源を使用しない 1.705MHz 以下の速度で動作する装置もこれに除外対象に含まれる。

マウスやジョイスティックは明らかに認定対象 外である。これらには高周波数回路もなければ、 高周波信号も使用していない。ただし、内部に自 分のマイクロプロセッサを持つマウスは認定が必 要である。

10.6 FCCクラス

現在では、ほとんどの人が、FCCではデジタル装置を「A」と「B」の2つのクラスにわけていることを知っている。クラスAとクラスBとでは、放射の許容範囲とテスト内容がまったく異なる。この分類は機器が使用される場所を基にして行われる。クラスAのデジタル装置は、ビジネス、商業、工業用アプリケーションにのみ適したもので、クラスBは家庭で使用されるデジタル装置に適用される。

FCC 規則は、パーソナルコンピュータをすべてクラス B に定義している。また、FCC ではパーソナルコンピュータという用語について、今あなたが手を置いているものもその範疇に含まれると考えられる定義も行っている。数年前にはホームコンピュータに分類された装置、たとえば「Commodore 64」などは、現在パーソナルコンピュータの部類に含められている。これは、FCC がテレビ受信機をディスプレイ装置として使用するコンピュータは、すべてパーソナルコンピュータであるとしたからで

ある。しかし、パーソナルコンピュータの定義はこれだけではない。おそらく、今あなたの机に乗っているだろうパーソナルコンピュータのように、専用のディスプレイシステムを持ったコンピュータは、次の3つの特性を持っている場合は、パーソナルコンピュータとしてFCC認定の対象となる。

- 1. 小売り店もしくはダイレクトメール販売会社で販売されたもの
- 2. その装置の宣伝広告が、商用ユーザーに限定せず一般大衆に向けて行われている
- 3. 120V の AC 電力で動作する

特定のコンピュータが、実際どのように販売されたかは問題ではない。特定のモデルが小売り店もしくはダイレクトメール販売会社を通して販売されたことがある限り、第一の条件を満たしたことになる。

メインフレームやミニコンピュータのほとんど

は、工業用の230Vの電力を使用しており、クラスAの装置の範疇に含まれる。しかし、FCC規則によれば、このクラスに分類される最も重要な特性は、個人が家庭では使用できないような性質もしくは価格を有しているという点である。この点では、FCCはメーカーに逃げ道を与えている。つまり、この要件を利用して、メーカーや輸入業者は、特定のパーソナルコンピュータに、住宅での使用やマニアの用途には向かないという性質(つまり、価格もしくは性能が高い)があるという条件を付けて、クラスAの装置として扱ってもらうようにFCCに申請することができるのである。

実際、家庭で使用するコンピュータとしては適さない価格もしくは性能の明確な基準をどこに置くかは、FCC 規則では定められていない。FCCで使用している一般的な(絶対的ではない)ガイドラインは、基本小売価格が5,000ドル以上のコンピュータは、ビジネスユースに使用される傾向にあるということである。486以上の高性能マイクロプロセッサをベースにした現在のコンピュータは、クラス A の装置として FCC が認定しそうなほどの高性能を有している場合がある。パーソナルコンピュータの高まる性能、価格の低下、ホームユーザーの急増に伴い、こうしたガイドラインも変わってゆくだろう。

ただし、メーカーは、ある特定のコンピュータがクラス A の装置であるとただ単に主張することはできない。FCC にそのクラスの装置として申請しなければならないし、それを証拠立てる根拠もあったほうがいい。FCC は文書による通知でクラスを確認する。

携帯用パソコンはすべて、クラス B の装置と見なされる。これは、まさにその携帯性が住居空間で使用するのに適しているからである。たとえば石油調査のための地質学的測定に使用される機器など、クラス A に属する携帯用コンピュータというのも理論的には考えられるが、汎用の携帯用パソコンは、クラス A の装置としては認められていない。携帯用パソコンとしては、最小のパームトップタイプのものから旧式の重いランチボックスタイプのものまで、クラス A の装置として販売される携帯用パソコンはすべて FCC 規則に違反して

いるわけである。法的には、アメリカでこのようなコンピュータを販売することはできない。

このように、自社の製品をクラスAの装置とし て扱ってもらうことを望むメーカーにはそれなり の理由がある。クラス A の装置は、放射の許容要 件が緩やかであるというだけでなく、時間のかか る FCC 認定の手続きが必要ないからである。 ク ラスAの装置は、代わりにその製造元が FCC 規 則に準拠していることを証明するだけでよい。つ まり、クラスBの装置の場合、FCCもしくは特定 の試験所において行われるテストをパスすること によって FCC から認定を受けるのに対し、クラス A の装置は、FCC 規則に準拠しているかどうかを メーカー自身がテストして証明するのである。後 者の手続きのほうが文句なく早い。また、規則を ある程度都合のいいように解釈する余地も残され る。したがってたとえば、メーカーは販売戦略の 圧力に負けて、実際に認定する前に証明済みとし てしまうこともありうる。しかしながら、FCC は クラス A 認定製品について再チェックを行うこと ができ、本当に基準に適合していなければ、販売 を差し止めることができる。また、そのような虚 偽の主張を行ったメーカーを罰することもできる。

放射制限

クラス A の装置とクラス B の装置を分ける境界線の正当性は漠然としていて、テストの手続きの形式の違いも意味がないように思われるかもしれないが、両クラスには正当な根拠がある。

まず、クラス B の装置に対する放射制限は、根拠もなく勝手気ままに設けられたものではない。FCC の放射制限には、コンピュータとテレビやラジオを隔てている壁が1枚以上あり、さらに、両者が30 フィート以上離れている場合に、ラジオやテレビの受信障害を発生しないと思われる程度の低さの値が設定されている。30 フィートと壁1枚という環境は、一般住居地を表わすものとしては(少なくとも FCC にとっては) 妥当である。要するにこの基準は、クラス B の装置が干渉を発生しても、それが発生源のコンピュータがある住居内だけに留まるように、設定されているのである。近隣は心配する必要はないのである。

一方、クラス A の装置は、この 10 倍以上離れているところにある装置に干渉を発生しなければよしとされる。このように干渉の許容範囲が高く設けられているのは、基本的にほとんどの住居地域は工場や商業用ビルから 30 フィート以上離れたところにあるという前提に基づいているからである。離れた場所にあることを前提としたクラスA の装置は、放射が多くても、近隣のテレビやラジオの受信障害を引き起こすことはないわけである。しかし、住居地域に置かれていれば当然その可能性は出てくる。

FCC 規則の放射制限は2種類の放射が対象となっている。電源コードのワイヤを通して伝わる伝導性放射と、コンピュータから空間に放出される無線信号である。放射の最大強度は周波数によって変わる。

クラス A の装置とクラス B の装置に対するテ ストの取り決めの違いや、メーカーによる FCC 適 合証明と FCC による認定という違いには、この 規則が関与する2つの種類のコンピュータ装置に おいて FCC が思い描いたいくつかの現実が反映 している。クラス Bの製品は、数千台から数百万 台といった単位の量産品であり、FCC にサンプル を送ることに問題はない(認定作業で強いられる遅 れを別にすれば)。一方、クラス A の装置は、た とえば環境制御されたコンピュータルームに、顧 客の仕様に合わせて設置されるメインフレームな ど、特殊なものであることが多い。この場合、メ インフレームのような装置を FCC の試験所に送 るのは、どう考えても現実的ではない。さらに、 クラス A の機器に比べてクラス B の機器のほう は一般大衆に使用されるものである点から、より 一般的な装置のほうに干渉に対してより高い保証 が求められるのであると思われる。

FCC 規則では、ビジネス用や工業用機器は、FCC へ送ってクラス B の装置として認定してもらうことができ、また、クラス B の装置はオフィスで使用することができるとしている。しかし、その逆は真ではない。クラス A の機器は住居地域で使用してはならないのである。

FCC 規則の強制

法律でクラスAの装置を住居で使用してはなら ないと定めているわけではない。また、使用した としても、無線警察がドアを破って踏み込んでく るということはない。FCC 規則では、誰も気付か なければ、住居でクラス A の装置を使用しても明 らかに罰せられない。とはいえ、もし自分のコン ピュータが他人のラジオやテレビの受信障害を引 き起こしているとしたら、そのコンピュータがク ラスAのものであろうとクラスBのものであろ うと、干渉を取り除く責任がある。FCCは、それ を行わない人に対して、干渉を解決するまでコン ピュータの使用を中止するように指示することが できる。この指示に従わなければ、罰金を課され たり、拘禁されることもありうる。このような脅 威だけで、クラスAの装置を住居で使用すること を思いとどまらせるのに十分だろう。

政策というものはいくぶん独裁者的な性質も持つようで、FCCもまた、必要な時には個人のパーソナルコンピュータを調査することを要求する権限を持っている。FCC規則では、クラスAまたはクラスBの装置(またはFCC規則の対象となる機器)の所有者は、装置とそれに付いている認定とを、要求に応じて妥当なときに(一般に平日の午前9時から午後5時)、調査のために提示しなければならないとしている。また、FCCの代理人に対しては、パーソナルコンピュータの動作に関して要求される情報を、"速やかに提出"しなければならない。

しかし、大きなバンがパラボラアンテナをあなたの家の方に向けてゆっくりとやって来るのを、窓から用心深く見張る必要はない。そういうバンは、安っぽいスパイ小説や映画にしか出てこない。実際は、FCCはアンテナなど付いていないごく普通の外観の車を使っている。さらにFCCは、住居で使用されているクラスAの装置を探すために、不定期に外に出かけて行くことはない。干渉探知機は要請に応じて動きだす。したがって、FCCがドアをノックするより先に、近所の人が何か言い始めたのを耳にするはずだ。

それよりも FCC は、近隣の人の見ているテレビ に波線を生じさせるような干渉発生源となる装置 が一般に売られて、誰かがこれを購入してしまうかもしれないことのほうに注意を払っており、最終的な手段として、そのような装置の販売を禁止したりしているのである。

FCCが認定していないクラスBのパーソナルコンピュータは、法的には販売用に広告することはできない。ただし、認定を受けていない(したがって販売されていない)ということを注記した上であれば広告は許されている。クラスAの装置として承認されてもいなければ、クラスBに準拠しているとも認定されていないコンピュータを市場に出した企業は、その装置の販売を差し止められ、罰金が課される。この規則を無視し続けると、その企業の役員は投獄されることもありうる。FCCによれば、ほとんどの企業が指示には即座に従っているということだ。

クラス B の装置は、適切な否認証明を添付すれば、認定を受ける前でもショーで展示してデモンストレーションを行うことができる。基本的な禁止事項は、認定を受けない装置の販売である。たとえば、デモンストレーション用のユニットは配布できても、コンピュータのディーラーに展示用に売ることはできないのである。

証明と認定

認定の手続きでは、FCC または特定の試験所でテストを受けること、およびメリーランドかコロンビアの FCC 研究所に、パーソナルコンピュータや周辺機器のサンプルを送付することが要求される。FCC は送付された機器をテストして、放射がクラス B の装置に指定された範囲内であるかどうかを判断する。テストをパスした装置に対しては、FCC が認定を与えて英数字による認定番号を発行する (メーカーが自分で好きな番号を選ぶこともよくある)。

ケース、電源、マザーボードのいずれかが異なれば、各モデルについて個別に認定を受けなければならない。たとえば、デスクトップタイプと床に設置するタイプの2つのケースに対し、それぞれ386SX、386DX、486DXの3種類のシステムボードを提供している場合は、合計6種類の構成のひとつひとつについて認定を受けなければなら

ないのである。

同一メーカーが製造した同一製品は、ラベルや色など装飾的な部分にしか違いがないのであれば、ベンダーが異なっても認定番号を共有してよい。かつては、そういうコンピュータは異なる商標で個別に届け出が必要だったが、新しい(1989年)規則ではこの要件は緩和されている。前述のとおり、ケース、プロセッサ、電源が異なれば、同じメーカーの製造した製品でも、FCCの認定番号を共有することはできない。

パーソナルコンピュータに認定を受けている周辺装置を新たに追加する場合、もとのモデルとその部分しか違いがなければ、再認定を受ける必要はない。したがって、たとえばメーカーが、FCC認定のシリアルボードをインストールして別のモデルを作った場合、その新しいモデルには前のモデルの認定が適用できるわけだ。

小規模のコンピュータメーカーは、自社の製品は FCC 認定済みの部品のみを使って組み立てられているのだから、FCC 認定は必要ないのではないかと主張することがあるが、これは不可能であることは簡単にわかる。パーソナルコンピュータは、電源、ケース、マザーボードなしでは成立しないが、これらの構成部品は、それだけでは FCC 認定を受けることはできないのである。部品から組み立てられるコンピュータはいずれもユニット全体として FCC の認定を受けなければならないのである。

これらの規則はみな、コンピュータメーカーに対してしか FCC 認定を重要なものにしていないように思われるが、結局は、クラス A でもクラス B でも自分のコンピュータが発生する干渉を取り除く責任は自分にあることには変わりないことを考えると、FCC 認定はユーザーにとっても重要だといえよう。

機器設計

クラス B の認定を受けるためには、よりよい設計と完成品が必要である。認定ステッカーは、特定の製品の出来が優れていることを何ら保証するものではないが、認定ステッカーのあるパーソナルコンピュータや周辺装置は、それがない機器と

は異なり、重要な技術基準を確実に満たしていることは示している。パーソナルコンピュータを購入する際に、FCC 認定に完全に頼りきってはいけないが、自分が購入しようと考えている装置の品質に関するひとつのよりところにはなる。

メーカーは放射を抑えるために、多種多様な方 策を用いている。コンピュータのスピードが増す につれて、メーカーはますます大変になる。

PC、XT、AT、互換機の重い鋼鉄製のケースは、RFIを防止するものとしては妥当である。プラスチックケースの場合は、放射を最小限に抑えるために特殊な処理を要する。処理方法のひとつは、伝導性塗料の使用である。多くは銀が豊富に含まれているもので、ほかのコンピュータのフルメタルジャケットとほとんど変わらずに、コンピュータをシールドしてくれる。

パーソナルコンピュータの動作周波数が増加するに従い、擬似放射は有害になっていく。ケースに隙間があると、そこから過度に無線エネルギーが漏れてしまう可能性がある。シャシーの各パーツやケースの蓋が電気的につながっていない場合、RFIが漏れることがある。さらに、コンピュータに接続されているケーブルは潜在的にアンテナの働きをするため、ラジオ局の同程度の効果を持つ信号を送信してしまうことがある。

これに対し、設計において様々な点に配慮することによって、RFIを減少させることができる。たとえば、ケースの端に特殊な金属性の突起を付ければ、2つのパーツを確実に電気的につなげることができる。ケーブルはシールドする。RFI吸

収フェライト(酸化鉄)ビーズをワイヤがシャシーから出る前に巻いておけば、過剰なエネルギーが漏れる前にそれを吸収させることができる。ただし、このような処置のひとつひとつは、材料費および製造コストの両面でコンピュータのコストを若干増加させる。さらに、漏出箇所すべてを見つけてそれらをふさぐには、かなりの時間がかかる。

干渉もまた、その源で最小限に抑えることができる。たとえば、IBMは、無線周波数放射については徹底的に低くなるように PS/2 を設計した。 PS/2 のシステムボードとマイクロチャネルは、擬似放射が最小限になる方法で設計されている。プレーナーボードの外層は、主にグランド層で構成されている。グランド層によって、回路ボードの内部層の高周波信号がシールドされるのである。グランド線は、バスを部分的にシールドするために、マイクロチャネルバス上のアクティブコンダクタで置き換えられる。

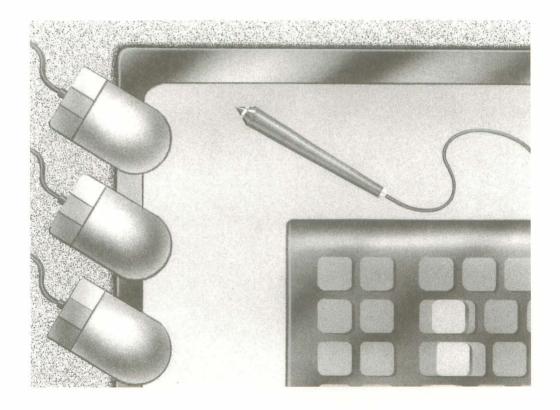
基本的に、クラス B の装置は、クラス A のコンピュータより干渉の発生が少なくなるように設計されなければならない。これの意味するところは、テレビの受信障害で隣近所ともめるような事態を生じないようにするということだけではなく、クラス B のコンピュータは、細部にまで配慮が必要な構造を持っているということである。加えて、無線周波数の放射を低く抑えることは、概して、より低い周波数の放射を抑えることにも結び付く。これで、低周波数放射の人体への影響について心配している人も、安心することができる。

TO THE LOCATION OF THE PROPERTY OF THE PROPERT

AND THE CONTRACTOR OF THE REAL PROPERTY OF THE PROPERTY OF T

第一章

入力装置



入力装置はパーソナルコンピュータに情報を伝える道具であり、ユーザーがパーソナルコンピュータとやり取りするための基本的な手段である。この道具として使用される様々な装置には、電気的接触を利用したものから音声によるものまで、今日のあらゆるテクノロジーが利用されている。これらの装置は、それぞれ異なった方法で動作するが、果たす役割は等しく、人とコンピュータのコミュニケーションを可能にするものである。

11.1 キーボード

ほとんどのコンピュータシステムでは、基本的な入力装置はキーボードであり、音声認識システムが、連続した言葉を認識できるレベルに完成されるまでは、キーボードが主要な入力装置であることは変わらないと思われる。したがって、キーボードの使用に際して困ることのないように、動作の仕組みを理解しておくのも意味のあることだろう。

IBMは、様々なパーソナルコンピュータに合わせて、これまでに十数種類のキーボードを発売している。この中の4つは、実際には主流の製品ではない。そのうちの2つは「PCjr」専用に設計されたキーボード、もう1つは短命だった「Portable PC」用のもので、残りの1つは「3270PC」用に特別に設計されたものだった。これら以外のキーボードは、キー配列を変えたり、便利な機能を搭載して改良されていった。またその中には、机上の省スペース化や、IBMによって再度着手されることとなったポータブルタイプのコンピュータに合せて、小型化されたものもある。

PC/XTキーボード

最初のPCと共に発表された、オリジナルのPC/XTキーボードから、すでに不満は起こっ

ていた(図 11-1 参照)。この設計は、合計 83 個のキーで構成されており、強烈な批判(おもに出版界から)にもかかわらず、AT が発売されるまでの間、IBM の標準として続いていた。この設計では、メインとなる文字と数字キーのエリアの左に、縦2列にファンクションキーが配置されており、カーソルキーと、数値を直接入力するために電卓スタイルに並んだ数字キーは、同じキーを共有しなければならなかった。Enter キーは小さく、そのキートップの折れた矢印のマークは分かりにくく、また、Caps Lock、Num Lock、Scroll Lock の3つの切り換えをロックするキーには、インジケータがついていなかった。

このオリジナルの設計に対する不満は、おもに周辺のキーのレイアウトに関するものだった。大抵のプログラムでは、画面の下1列にファンクションキーの割り当てが表示されるが、これと左側のファンクションキーの並び方が対応していないのである。また、インジケータがないために、カーソル移動と数字入力や、大文字と小文字のタイプミスが頻繁に起こった。表計算プログラムでは、キーを共有しない独立した数字キーとカーソルキーが必要だった。さらに、Enter キーも小さすぎた。



図 11-1 IBM PC/XT キーボードのレイアウト

ATキーボード

出版界でこうした不満が伝えられた数年後、IBM はこれらの点に留意しながら AT と共に新たな配列のキーボードを発売した。これには新しいキーも追加されている(主としてマルチユーザーアプリケーションの用途に設計された Sys Rq キー)。Enter キーは大きくなり、ほかのキーと見分けがつくようになった。切り換えのロックキーにはインジケータがつけられた(図 11-2 参照)。

しかし両者の違いは実際はもっと深いところに

ある。PCキーボードとは異なり、ATキーボードはプログラム可能に作られていた。自分専用のコマンドセットを持ち、そのコマンドセットはシステムユニットを通してキーボードまで伝えられる。このため、ATキーボードはPCおよびXTシステムとは非互換となった。コネクタは同じでも、PCとXTのキーボードは、ATに接続すると動作しないし、逆にATキーボードをPCまたはXTシステムに接続しても動かない。



図 11-2 IBM AT キーボードのレイアウト

IBMアドバンスドキーボード

アップグレードされた AT の市場投入とともに、IBM 自身が "アドバンスドキーボード" と呼び、一般には "エンハンスドキーボード" とも呼ばれる新しいキーボードを発表した。電気的には、オリジナルの AT キーボードと同じだが (AT キーボー

ドと交換して接続可能で、PC および XT とは非 互換のままである)、キー配列は再度変更されてい る。改良された点は、キーの数が格段に増えたこ とで、標準の US モデルでは、合計で 101 個、イ ンターナショナルモデルではこれよりさらに 1 個 多いキーが装備された(図 11-3 参照)。



図 11-3 IBM エンハンスドキーボードのレイアウト

追加されたキーは様々である。新しいキーとしては、カーソル移動と数字入力の共用キーとは別に、専用のカーソルキーが用意された。また、いくつかのコントロールキーは別の小さなキーにも重複して割り当てられた。新たに2つのファンクションキー(F11、F12)が追加され、全12個のファンクションキーは、数字キーのエリアからわずかに離れたキーボードの最上部に移動した。CtrlとAltキーはそれぞれ2つずつに増やされ、スペースバーの両サイドに1組ずつ置かれた。Caps Lockキーは以前はCtrlキーがあった場所に移動した。

待ちに待って実現した設計の改良点は、キーボード最上部へのファンクションキーの移動である。これは PC の発表以来、コンピュータ関連のライターたちから強く求められていたものだ。これによってようやく、ファンクションキーは画面に表示されるキーラベルの位置と対応するようになった。しかし、かつてのファンクションキー配列に不満を持っていた人々は、この改良のすぐあとには、左側に2列に並んだかつてのファンクションキー配列の方が、ずっと使い勝手がよいことに気が付いた。Alt キーや Ctrl キーと組み合わせてファンクションキーを使用する場合は特にそう感じられた。前は片手でできた操作が今度は両手が必要になったからである。

さらに、新しいファンクションキーの配置は前よりも扱いにくいことがわかった。Enter キーは小さくなったため、速くタイプすると間違いやすくなった。結局のところこのキーボードは、熟練したタイピストよりも、我流でタイピングするユーザー向けに設計されたものだった。おそらく以前の設計に対して最も声高に不満をもらしていたのは、まさにこの我流のユーザーたちだったのだろう。実際、キーがアルファベット順に並んでいないことに不満を持ったのもこの人たちだった。

PS/2キーボード

PS/2 ラインの製品は、一般的に IBM アドバンスドキーボードか、もしくは、元々は小型の「モデル 25」用に設計された特別縮小サイズのキーボードを使用している。文字のレイアウトは図 11-4 に示すとおりである。

PS/2 と XT/AT アドバンスドキーボード との唯一の違いは、取り外し可能なケーブルの コネクタの種類である。PS/2 のケーブルは、PC/AT/XT キーボードの標準 DIN コネクタ のかわりに、縮小 DIN コネクタを使っている。このケーブルは、使用するシステムに合せて適切なケーブルに交換できるように取り外し可能になっている。

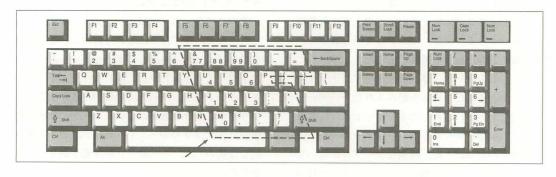


図 11-4 IBM コンパンクトキーボードのレイアウト

互換キーボード

互換機メーカーは IBM に懸命に足並みを合わせ、普及している標準に合わせて自社のキーボードも改造していた。その流れの中で、これらのメー

カーは先例にならい、アドバンスドキーボード設計の欠点を認識しつつもこれを採用した。メーカーの中には、その会社独自の巧みな改良を加えることによって、IBMの三本立てのキー配列によっ

て生じる混乱を解消したところもあった。これは「Mystery of the Moving Keys.」という解説本が必要なほどの完璧な苦心作で、通常の文字と数字を割り当てられているキー以外は、すべての機能キーを任意のキーへ再割り当てできるというものである。

多くの互換機メーカーが実行した1つの改良は、 互換スイッチを設けたことである。このスイッチ は、通常はキーボードの底面に設けられており、 スイッチには2つのポジションがあって、これに よってキーボードの電気的な互換性を、PC/XT 互換かAT互換のどちらかに設定することができ る。ユーザーがスイッチを適当な位置にセットし て、1台のキーボードをPC/XTとATの両方の システムユニットで使用できるわけだ。

いくつかのキーボードでは、左側の Ctrl キーと Caps Lock キーの位置を交換して、Ctrl キーを自 分の使いなれた方の位置に置くことができるように、余分にキーキャップがついているものがある。 2 つのキーを電気的に配置しなおすには、キーボードに付いているスイッチか、ホストコンピュータで走らせるソフトウェアが必要である。現在持っているキーボードにこの機能を追加することはできないが、新たに交換用のキーボードを買うときには探してみる価値はある。

サードパーティーのベンダーから発売された非標準のキーボード設計の中には、ファンクションキーを左側の2列に加えてボード最上列にも装備したものがある。また、カーソルキーと数字キーの分離を試みた設計も数多くあった。

いくつかのメーカーは、キーボードにトラックボールや改造したマウスを組み入れたキーボードを発売している。これらのキーボードには、キーボードの配線とマウスやトラックボールのシリアル回線をひとつにした、特別なケーブルが付いている。このケーブルの端には2つのプラグが付いていて、それぞれのプラグはコンピュータの別々のポートに接続する(前面にキーボードのポート、背面にシリアルポートがあるコンピュータでは、このケーブルの配線に若干の問題があるだろう)。

Northgate は、非互換機である Tandy の「モデル 1000」や AT&T の「モデル 6300」でも動作する

数種類のキーボードを設計した点で、キーボード_・メーカーの中では異色の存在である。

ラップトップマシンの中には、机に置いて使用するときは標準のフルサイズのキーボードを接続できるように、外部キーボード用のポートを持ったものがある。新しいタイプのキーボードはこのポートがない場合を考慮して、ほとんどのマシンが装備しているパラレルポートを通してラップトップ本体へ接続しているものがある。

キーボード仕様

キートップの標準的な間隔は、隣り合う2つのキートップの中心点を結んだ長さが0.75インチである。ラップトップマシンの中には、大きさの制約からこの間隔を少し縮めてキーを搭載しようとしたものもあったが、手の大きい人ならいずれはフルサイズのキーボードが欲しくなるだろう。

標準的なキートラベル (キー入力を認識させるためのキートップの押し下げ量) は、普通のデスクトップモデルで $3.5\sim 4.5$ mm である。これがラップトップやノートパソコンや若干の標準ボードになると、 $2.5\sim 3.8$ mm ($0.14\sim 0.18$ インチ) に縮まる。また、ほとんどのキーボードでは、キーが接触するまで押し下げるのに $54\sim 70$ g ($1.9\sim 2.5$ オンス)の押圧が必要である。

キーボードのテクノロジー

すべてのキーボードは、たとえキー配列は違っても、キーが指で押されたのを検出し、この情報をコンピュータに中継して伝えるという共通の機能を持っている。しかし、同じよう見える2つのキーボードでも、キー入力の検出方法が大きく異なっている場合がある。このキー入力の検出に使用されるテクノロジー(キーボードの動作の電気的な仕組み)は、キーボードの強度や耐久性に影響を及ぼすこともある。

キーボードには、特殊なもの(たとえばホール効果を応用したスイッチなど)から一般的なのもの(入切のみを行うスイッチ)まで、様々なテクノロジーが利用されてきた。その中で最も一般的なのが、キャパシティブキーボード(静電容量検出方式)とハードコンタクトキーボード(接触方式)で

ある。

■キャパシティブキーボード

IBM の主流のキーボードはすべて、また主流ではないが Portable PC や 3270PC のキーボードも同様に、ある共通のメカニズムを共有している点で、1つのタイプに分類できる。これらはすべて、キャバシティブキーボードテクノロジーを使用して動作するものである。

一般的にキャパシティブキーボードは、回路がエッチングした基板で構成されている。それぞれのスイッチステーション(キーボード用語では各キーはステーションと呼ばれる)の下には、すずとニッケルでめっきされた銅の大きなパッドが2つある。2つのパッドは物理的にも電気的にも接触していない。

キーを押すとキープランジャーの真下にあるこの2つのパッドを分離している金属化されたプラスチックの輪に圧力がかかる。この輪はプラスチックの裏板があるので、パッドの間は接触して、電気が流れないようになっているが、2つのパッドはもともと接近しているため静電容量の減少という変化が生じる。これによって20~24pF(ピコファラッド)だった静電容量は2~6pFまで減少する。この静電容量の減少は、パッドにつながる回路に微小だが検出可能な程度の電流を発生させる。

IBM 設計とは反対の方法を採用しているキャパシティブ互換キーボードもある。キーを押すことによってキャパシティブパッドも一緒に押され、電気容量を増加させるという方法である。この逆の方法でも結果は同じで、キーボードの電子回路が検出可能な範囲の電流が発生する。

IBM のキーボードは、スプリングのメカニズムによって、キーを押したときにその感触が得られ、クリック音を発するようになっている。また、スプリングのメカニズムは、キーが押されたあとに、キーをもとの位置まで押し戻す役目も果たしている。いわゆるソフトタッチキーボードは、スプリングとしてだけでなく、キーストロークの衝撃を弱める目的で、フォームラバー(気泡入りゴム)を使用しているものが多い。

キーボードに搭載されたマイクロプロセッサ(普

及タイプのキーボードでは、「8048シリーズ」のデ バイスが一般的である)の制御下では、すべての パッドの電流の変化は数マイクロ秒ごとにスキャ ンされており、キーストロークによって生じる瞬 間的な電流の流れを検出することができる。しか し、無作為に発生するノイズの微小な変化は、キー ストロークによって生成される電流パルスによく 似たパルスを発生することがあるため、キーボー ドでは2回以上のスキャンを行って、その間に増 加し続ける電流が検出されたらキーが押されたと 判断することで、ノイズとキーストロークの区別 をしている。2度もスキャンを行うと、速度が低 下してしまうように思われるかもしれないが、全 体のチェックと確認動作はたいへん速い。普通の キーボードでは1秒間に300文字の速さのキー入 力を処理することができる。これは一般的なプロ グラマや速いタイピストのタイピング速度よりも いくぶん速い。

キーストロークが検出されると、キーボードに 組み込まれているマイクロプロセッサは、どのキー が押されたかを示すスキャンコードを生成する。 生成されたスキャンコードはシリアルデータに変 換されて、コンピュータのシステム本体のマイク ロプロセッサへ伝えられる。

■ ハードコンタクトキーボード

キャパシティブキーボードのメカニズムと電子 回路は、相対的に複雑で相当高価でもある。これ よりコストの安い代替手段が、2種類の PCjr キー ボードに使用されているハードコンタクト設計で ある。

PCjr は、パーソナルコンピュータ市場における IBM の大きな誤りの1つで、このコンピュータ自体はほとんど歴史の藻屑と消え去っている。しかし、このマシンには検討する価値のある2、3の特異なテクノロジーが採用されている。PCjr キーボードでは、各キーは個別のスイッチとして働く。キーを押すとスイッチの2つの接点の間にハードコンタクト(電気的接触)が形成される。この接触によって電気が流れ、その電気の流れはマトリックスの配列によって検出されると同時に、どのキーが押されたかも示す。

ハードコンタクト設計に必要な各キーストロークを検出するための回路は、キャパシティブキーボードより簡単だが、マイクロプロセッサがスキャンコードを割り当てて、データをシステムユニットに転送するために、シリアルデータに変換しなければならない点は同じである。

PCjrキーボードの特殊なハードコンタクトの設計は驚くほど簡単である。型に取った導電性のゴム製のシートが土台になっているが、これはキーを静止位置に戻すために必要なスプリングの役目を果たすと同時に、スイッチングに必要な接触点も、このゴムシートによって作られている。ゴムシートには、いくつものドーム型の突起が精密に作られており、この突起は、各キーの中央部を真上から軽く押すような一定の動作で圧力が加えられると、へこむようになっている。

今日の互換機に使用されているキーボードの多くは、ハードコンタクト設計と同様の仕組みを持つものである。これらの利点はコストが安いことだが、根本的な欠点は、キャパシティブキーボードより耐久性が低いことである。よく起こるトラブルとして、1個のキーが劣化して突然動きが固くなり、そのキーだけほかのキーより大きい押し圧が必要になってしまうことがある。このトラブルを解決するには新しいキーボードを買うしかない。

■ キートップ

PCjr の外観を最も損なっているデザインは、恐らくそのキーボードだろう。このコンピュータは、錠剤のような小さなキーを採用しており、このキーは出版界からは嘲笑的な意味を込めて、チクレット、と名付けられた(小さくて白いクッションの形をした、砂糖でコーティングされたガム=チクレットに似ていたからである)。この極端なデザインについて当の IBM は、このキーデザインによって、各キーを表わす印や名前を表示したプラスチックまたは厚紙のテンプレートが使用できる、という長所をいいわけにしていた。しかしながら、この小さいキーのおかげで、PCjr キーボードはタイピングしずらくなり、ビジネスアプリケーションの中

で、安価な PCjr が高価なパーソナルコンピュータ にとって代わる可能性をすっかり消してしまった。

PCjrキーボードは改善され、無料でアップグレードできるようになっていたが、改訂後のキーボードでも、電気的な仕組みとメカニズムの点では、オリジナルのモデルから変わっていない。唯一の変更点は、キートップのサイズが大きくなったことである。

このキートップは、IBMのほかの全デザインと同じように、くぼんだ円筒形という特徴的な外形をしている。わずかにある非IBMキーボードも(基本的にはヨーロッパの製品)、キートップには丸い皿のような形のくぼみがついている。両者の唯一の違いは感触だが、普通はどんなキーでも使い慣れたものが一番だ。

■コードレスキーボード

当時流行した新しい設計を IBM も採用し、PCjrキーボードをワイヤレスで操作できるように設計した。これは、キーボードの背面に付けられた赤外線を発光する 2 つの LED がスキャンコードを光学的に送信し、送られたスキャンコードは PCjrシステムユニットのフロントパネルにはめ込まれたフォトディテクタによって受け取られるという仕組みである。

キーボードをワイヤレスモードで使用するときは、電源として4本の単3乾電池が必要だったため、操作の信頼性を高めるために、IBMはPCjr用として標準のキーボードケーブルを使用することも提唱していた。PCjrキーボードのケーブルは、キーボード側の先端には電話機式のモジュラコネクタを、システムユニット側の先端にはバーグコネクタを使用していたが、バーグコネクタは入手が困難なため、自分でキーボードケーブルを作るのは現実的には難しい。ただし、用途によって(あるいは机上の配置の都合で)ケーブルの延長を必要とする場合は、IBMケーブルとキーボードの間に、何本でも標準のモジュラケーブルを継ぎ足すことによって、簡単にケーブルを長くすることができる。

丰一配列

■ QWERTY +-

初めてキーに触る人は、一般的なコンピュータのキーボードが、見た目には何の意味もないキー配列になっていることに驚き、戸惑うことだろう。この難解なレイアウトに付けられた名前さえ、ある種の黒魔術や奇妙な神秘宗教の呪文の雰囲気がある。このキーレイアウトは「QWERTY(クゥワーティー)」と呼ばれているが、これはアルファベットキーの最上列の最初の6文字を単純に並べたものである。このような不合理なキー配列が生まれた理由は、最初に実用化されたタイプライターのキーボードにまで遡ることになる。

実は、最初のタイプライターのキー配列はアルファベット順だった。しかし、タイプライターの発明者である Christopher Sholes は、この発明から1年もしないうちに、彼自身がこれよりも優れているとする、新しいキー配列に思い至った。これが現在知られている、そして嫌われている「QWERTY配列」である。

■逸話の真実

QWERTY配列には逸話がある。よく耳にする逸話の中ではQWERTYの由来は次のように語られている。つまり、タイピストたちは繁雑な仕事を処理するために、初期のタイプライターの単純なメカニズムを超える速さでキーを打つことができたが、そのタイピングの速さのあまりキーが絡んでタイプライターが壊れてしまうので、この妙なQWERTY配列にしてタイピングの速度を遅くさせ、キーが絡むのを防ごうとした、というものである。

Sholes は QWERTY 配列をどのようにして思い付いたか記録をまったく残さなかったが、タイピングを遅くしようとしたのではないことは明らかである。なぜなら、それほどに高速なタイピングは、キーボード上に 10 本の指を動かす現代式のタッチタイピングで実現できるものだが、このタッチタイピング方式は、Sholes が QWERTY 配列を定着させてから約 10 年も経ったあとで行われるようになったものだからだ。

QWERTY配列に関するこの逸話は、これ以外の部分でもまた説得力はない。たとえば、タイプバー(用紙に文字を打ち付けるために振り上げられる活字の付いたレバー)が絡まないように、アルファベットの順序に関係なくばらばらにキーに振り分ることは、まったく意味のないことである。なぜなら、タイプバーの配列とキーの配列は、直接的な関係は何もないからだ。

QWERTY 配列がアルファベットで唯一可能な配列でないことは明らかである。実際にはアルファベット文字だけで 26!通り (26 の階乗、正確には403,291,461,126,605,635,584,000,000 通り) の異なる配列が存在する。これを、違った長さの列に分けたり、アルファベット以外のキーまで含めると、配列の可能性がさらに多くなることはいうまでもない。QWERTY は唯一可能なレイアウトでもないし、恐らく最適な配列でもないだろう。

■ドボラーク/ディーレイキーボード

その知名度と採用度では QWERTY 配列にははるかに及ばないが、QWERTY に対抗した配列として最もよく知られているのは、その開発者である August Dvorak と William L. Dealey にちなんで名付けられた「ドボラーク/ディーレイ式文字配列」である。この名称は「ドボラーク」と短縮されることが多い。

ドボラーク/ディーレイ設計は、より速いタイ ピングを実現させるいくつかのアイディアを合体 させたものである。この設計によって基本的に目 指したところは、タイピング時の両手の交互使用 を促進することである。つまり、左手の下にある キーを1文字打った後は、次に打つキーが右手の 下にあるようにキーを配列したのである。このよう に、両手を交互に使用してタイピングすることは、 タイピングの高速化に大きな効果がある。手の交 替の頻度を高めるために、ドボラーク/ディーレ イ配列では、すべての母音字が真ん中の列の左指 の下のキーに配置されており、最も頻繁に使用さ れる子音字は同じく真ん中の列の右指の下のキー に置かれている。ドボラーク/ディーレイ配列は、 スピード化を目的として開発されたもので、アル ファベット順にこだわったキーボードや、習得し

やすいキーボードを作ろうとしたのではないこと に注意しなければならない(図 11-5 参照)。

ドボラーク/ディーレイキーボードは、1936年 にこの新しい文字配列の考案者である2人によって著わされた「Typewriting Behavior」という本 で初めて公開された。ドボラーク/ディーレイ配列 の根本原理や理論の長所を証明するために、1930 年代には機械式のタイプライターを使ってテストが行われた。このテストはつまるところ、QWERTY配列とドボラーク/ディーレイ式キー配列のタイピングレースだった。Dvorakと Dealey はテストを実行し、当然のことながら結果は 30% 増の速度で彼らのキー配列の勝ちだった。



図 11-5 ドボラーク/ディーレイキーボード (PC 互換機の Key Tronic KB 5150D の搭載例)

Dvorak は、自らが考案したキーボードとこのテスト結果を信じて、そのアイディアを紹介する小論文を書いた。しかしなんということか、彼が論文を書くたびに彼の主張は誇大なものになっていった。1943年12月にNational Business Education Quarterlyから発行された「There Is a Better Typewriter Keyboard」のようないくつかの論文は、何人かの専門家からは "完全な誤り"であると判断されている。米国海軍と General Accounting Ofice によって行われたテストでは、

Dvorak のものよりかなり控え目な結果が報告された。

彼のこうした誇大な主張の一方で、ドボラーク式配列は少なくともこれに熟練すれば、タイピングのスピードアップを促進する可能性を持っていることも事実である。タイピングの効率を増加させるにあたって不利な点は、QWERTYキーボードと比較するとタイピングの難易度が高いことである。

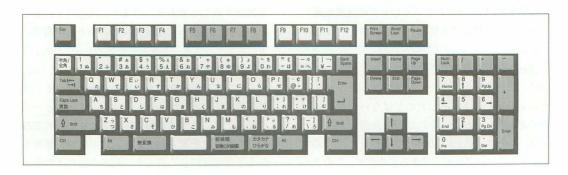


図 11-6 (参考) 日本語 106 キーボードのレイアウト

PCの設計では、ドボラーク配列は変更を加えられ、比較的簡単なものになっている。タイプライターが新しいキー配列に合せて新しく設計しなおさなければならないのに対し、パーソナルコンピュータは新しいキーボードを接続するだけでいい。市場向けのドボラークキーボードは特別注文で入手できる場合が多い。

PCは、キーボードからコンピュータに送られる信号を途中で横取りすることによって、PCがドボラーク式のキーボードが付いていると認識するように、簡単にプログラムしなおせるようになっているため、キーを押したときに押したキーと違う文字が画面(およびファイル)に表示されてもかまわなければ、ドボラーク配列を実際に試すことができる。

キーボードの使用

■スキャンコード

すべての IBM キーボードの内部マイクロプロ

セッサは、どのキーが押されたかを認識し、そこから得た情報をスキャンコードに変換する。そうして生成されたスキャンコードは、シリアル形式でホストコンピュータへ送られる。スキャンコードはキーが押されるたびに2つの異なるコードが生成されるようになっている。1つはキーが押されたとき、もう1つはキーが離された瞬間に生成される。この2コード技法によって、コンピュータシステムは、キーが押された瞬間と押され続けている時間を知ることができる。たとえばこれで、Altキーが押されている間にファンクションキーが押されたことも認識できるわけである。

各キーは独自のスキャンコードを生成する。また、たとえば文字/数字両用キーと数字/カーソル両用キーのように、同じマークが付いている2つのキーは、同じスキャンコードを生成する。ある特定のキーのコードは、そのとき Caps Lockキーや Shift キーが押されているいないにかかわらず同一である(表 11-1に、IBM キーボードが生成する各キーのスキャンコードを示す)。

表 11-1 US キーボードのスキャンコード

キー	メイクコード	ブレークコード	
文字・数字キーのコ	ニリア (全キーボード共通)		
A	1E	9E	
В	30	B0	
С	2E	AE	
D	20	A0	
E	12	92	
F	21	A1	
G	22	A2	
H	23	A3	
I	17	97	
J	24	A4	
K	25	A5	
L	26	A6	
M	32	B2	
N	31	B1	
O	18	98	
P	19	99	
Q	10	90	

+-	メイクコード	ブレークコード
R	13	93
S	1F	9F
T	14	94
U	16	96
V	2F	AF
W	11	91
X	2D	AD
Y	15	95
Z	2C	AC
0)	0B	8B
1 ! 5-45 * 1.53	02	82
2 @	03	83
3 #	04	84
4 \$	05	85
5 %	06	86
6 ©	07	87
7 &	08	88
8 *	09	89
9 (0A	8A
. TM	29	A9
	0C	8C
= +	0D	8D
[§	1A	9A
] †	1B	9B
¶ ®	2B	AB
;	27	A7
, ,,	28	A8
, <	33	B3
/ ?	35	B5
左Shift	2A	AA
左 Ctrl	1D	9D
左Alt	38	B8
右Shift	36	B6
右Alt	E0 38	E0 B8
右Ctrl	E0 1D	E0 9D
Caps Lock	3A	BA
Backspace	0E	8E
Tab	0F	8F
Space bar	39	B9
Enter	1C	9C

+-	メイクコード	ブレークコード
数字/カーソルキー		
Scroll Lock	46	C6
Num Lock	45	C5
*	37	B7
- 15 K 0 7 K	4A	CA
+4 (3 5 8 6 4 - 5 5	4E	CE
Enter	E0 1C	E0 9C
1 End	4F	CF
2	50	D0
3 Pg Dn	51	D0
4	4B	CB (Manual Care)
5	4C	CC
6	4D	CD THE THOMAS AND THE TRANSPORT OF THE T
7 Home	47	C7
8	48	C8
9 Pg Up	49	C9
0 Ins	52	D2
Num Lock	E0 35	E0 B5
2A に変わる。		ーのメイクコードは AA に、ブレークコードは E0 B ードとコンパクトキーボードのみ)
2A に変わる。 ファンクションキー (F	11 と F12 はアドバンスドキーボ	ードとコンパクトキーボードのみ)
2A に変わる。 ファンクションキー (F Esc	11 と F12 はアドバンスドキーボ 01	ードとコンパクトキーボードのみ) 81
2A に変わる。 ファンクションキー (F Esc F1	11 と F12 はアドバンスドキーボ 01 3B	ードとコンパクトキーボードのみ) 81 BB
2A に変わる。 ファンクションキー (F Esc F1 F2	11 と F12 はアドバンスドキーボ 01 3B 3C	ードとコンパクトキーボードのみ) 81 BB BC
2A に変わる。 ファンクションキー (F Esc F1 F2 F3	11 と F12 はアドバンスドキーボ 01 3B 3C 3D	ードとコンパクトキーボードのみ) 81 BB BC BD
2A に変わる。 ファンクションキー (F Esc F1 F2 F3 F4	11 と F12 はアドバンスドキーボ 01 3B 3C 3D 3E	ードとコンパクトキーボードのみ) 81 BB BC BD BE
2A に変わる。 ファンクションキー (F Esc F1 F2 F3 F4	11 と F12 はアドバンスドキーボ 01 3B 3C 3D	81 BB BC BD BE BF
2A に変わる。 ファンクションキー (F Esc F1 F2 F3 F4 F5	11 と F12 はアドバンスドキーボ 01 3B 3C 3D 3E 3F 40	- ドとコンパクトキーボードのみ) 81 BB BC BD BE BF C0
2A に変わる。 ファンクションキー (F Esc F1 F2 F3 F4 F5 F6	01 3B 3C 3D 3E 3F	ードとコンパクトキーボードのみ) 81 BB BC BD BE BF
2A に変わる。 ファンクションキー (F Esc F1 F2 F3 F4	11 と F12 はアドバンスドキーボ 01 3B 3C 3D 3E 3F 40 41	- ドとコンパクトキーボードのみ) 81 BB BC BD BE BF C0 C1
2Aに変わる。 ファンクションキー(F Esc F1 F2 F3 F4 F5 F6 F7	11 と F12 はアドバンスドキーボ 01 3B 3C 3D 3E 3F 40 41 42	- ドとコンパクトキーボードのみ) 81 BB BC BD BE BF C0 C1 C2
2Aに変わる。 ファンクションキー (F Esc F1 F2 F3 F4 F5 F6 F7 F8 F9	11 と F12 はアドバンスドキーボ 01 3B 3C 3D 3E 3F 40 41 42 43	81 BB BC BD BE BF C0 C1 C2 C3
2A に変わる。 ファンクションキー (F Esc F1 F2 F3 F4 F5 F6 F7 F8 F9 F10	11 と F12 はアドバンスドキーボ 01 3B 3C 3D 3E 3F 40 41 42 43	81 BB BC BD BE BF C0 C1 C2 C3 C4
2A に変わる。 ファンクションキー (F Esc F1 F2 F3 F4 F5 F6 F7 F8	11 と F12 はアドバンスドキーボ 01 3B 3C 3D 3E 3F 40 41 42 43 44 57 57	81 BB BC BD BE BF C0 C1 C2 C3 C4 D7
2A に変わる。 ファンクションキー (F Esc F1 F2 F3 F4 F5 F6 F7 F8 F9 F10 F11	11 と F12 はアドバンスドキーボ 01 3B 3C 3D 3E 3F 40 41 42 43 44 57 57	81 BB BC BD BE BF C0 C1 C2 C3 C4 D7 D8
2Aに変わる。 ファンクションキー(FEscF1 F2 F3 F4 F5 F6 F7 F8 F9 F10 F11 F12 専用カーソルのエリア	11 と F12 はアドバンスドキーボ 01 3B 3C 3D 3E 3F 40 41 42 43 44 57 57	81 BB BC BD BE BF C0 C1 C2 C3 C4 D7 D8 - ドとコンパクトキーボード)
2Aに変わる。 ファンクションキー(F) Esc F1 F2 F3 F4 F5 F6 F7 F8 F9 F10 F11 F12 専用カーソルのエリア	11 と F12 はアドバンスドキーボ 01 3B 3C 3D 3E 3F 40 41 42 43 44 57 57 57 と関連キー (アドバンスドキーボー E0 48	81 BB BC BD BE BF C0 C1 C2 C3 C4 D7 D8 -ドとコンパクトキーボード) E0 C8
2Aに変わる。 ファンクションキー(FEscF1 F2 F3 F4 F5 F6 F7 F8 F9 F10 F11 F12 専用カーソルのエリア 上矢印	11 と F12 はアドバンスドキーボ 01 3B 3C 3D 3E 3F 40 41 42 43 44 57 57 57 と関連キー(アドバンスドキーボー E0 48 E0 50	81 BB BC BD BE BF C0 C1 C2 C3 C4 D7 D8 -ドとコンパクトキーボード) E0 C8 E0 D0

+-	メイクコード	ブレークコード	
Home	E0 47	E0 C7	-2 441-1 (2.2)
Page Up	E0 49	E0 C9	
Delete	E0 53	E0 D3	
End	E0 4F	E0 CF	

注: キーボードが SHift または Num Lock 状態のときは、キーは異なるスキャンコードを送信し、ロック されている Shift の効力は無効になる。つまり、Shift 状態のキーでは、スキャンコードの前に EO AA が送信され、キーが押される前に Shift キーが押された状態や、一時的に Shift が無効化される状態を エミュレートする。ブレークコードの後には E0 2A が続き、キーボードを Shift 状態に戻す。同様に、 キーボードが Num Lock 状態のときは、これらのキーのメイクコードの前に E0 2A が送信され、ブ レークコードの後には EO AA が送信される。

Page Down	E0 51	E0 D1	7 ml
Scroll Lock	46	C6	
Pause	E1 1D E1 9D C5	なし (メイクコードのみ)	
Print Screen	E0 2A E0 37	E0 B7 E0 AA	

注: キーボードが Shift 状態のときか Ctrl キーが押されているときに Print Screen キーが押されると、E0 37 のメイクコードと E0 B7 のブレークコードを送信する。Alt キーが押されているときは、Print Screen のメイクコードは 54 になり、ブレークコードは D4 になる。Pause キーもまた Shift や Ctrl 状態では 異なって作動し、メイクコード E0 46 E0 C6 を送信する。

	ヘナットカーソルキ	ー(コンパクトキーボードの	<i>み</i>)	
;	: *	37	B7	
_		4A	CA	
=	+	4E	CE	
J	-1	4F	CF	
K	2	50	D0	
L	3	51	D1	
U	4	4B	СВ	
I	5	4C	CC	
O	6	4D	CD	
7	&	47	C7	
8	*	48	C8	
9	(49	C9	
0)	52	D2	

注: Shift が有効なとき、Scroll Lock キーは 45 C5 のスキャンコードを送信し、このスキャンコードによっ てコンパクトキーボードに組み込まれている数値キーは使用可能になる。この状態の間は押されたキー は表に示された値に変わる。

コンピュータは、特定のI/Oポートでこれら のスキャンコードを受け取る。スキャンコードが コンピュータに受け取られると、キーボードコン トローラは割り込みを発行することによって、マ イクロプロセッサに読むべきスキャンコードがあ

ピュータはスキャンコードを分類して、どのキー がどのような組み合わせで押されたかを判断する。 これを行うためのプログラムコードは、システム BIOSの中にある。コンピュータは、ステータス バイトと呼ばれる特別なメモリロケーションを変 ることを通知する。この状態が発生すると、コン えることによって、Shift キーがロックされている

状態を記憶する。ステータスバイトは変化がある たびにその状態を反映する。

通常は、ユーザーがスキャンコードを扱う必要はない。コンピュータはユーザーからは見えない形で、数字や文字への変換を自動的に行っている。変換された情報は、モニタ画面に表示される情報を生成する際に使用される。生成されたこの情報は、あなたが実行するアプリケーションでも使用できるし、さらにあなたが書いたプログラムでも使用できる。ただし、あなたが独自のプログラムを書く場合に、そのプログラムで各キーの変化を検出することが有益な場合がある。たとえば、あるキーの組み合わせが押されたときに、何かの事象が起こるようにしたい場合は、プログラムはキーボードの入力ポートを読んで、スキャンコードのリストと比較するだけでよいのである。

■ キーボードのケーブル接続

スキャンコードはキーボードからコンピュータへシリアル形式で送信されるので、キーボードデータという情報を転送する際には配線は1本しか必要ない。2本目の配線はデータ信号が戻る経路である。つまり、この配線はグランドとしてキーボードケーブルのほかの全回路の共通のリターンという役目を果たすのである。3本目の配線は、キーボードのロジックをコンピュータのロジックと同期させるために、キーボードクロック信号の経路に使用される。4本目の配線は回路駆動に必要な5Vの直流電源をキーボードに供給する配線である。以上の4本の配線が、コンピュータとキーボードを連結するのに必要なすべてである。

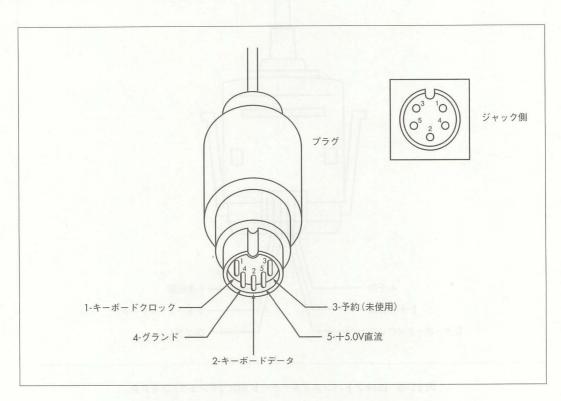


図 11-7 IBM PC、XT、AT キーボードの 5 ピン DIN コネクタ

ほとんどのパーソナルコンピュータは、キーボード接続用に標準5ピン DIN コネクタを使用している。ピンの割り当ては、1ピンがキーボードクロック、2ピンがキーボードデータ、4ピンがグランド、5ピンが5V電源となっている。キーボードプラグの3ピンは、キーボードをリセットする信号を搬送するのに割り当てられているが、一般的には使用されることはなく、通常のキーボードのケーブル接続ではこのピンは接続する必要はない(前ページ図 11-7 参照)。

一般的にアドバンスドキーボードでは、本体背面 にモジュラ(AMP)コネクタを使用しているので、 ケーブルの交換は容易である。またケーブルが取り外し可能なため、システムボード入力コネクタがそれぞれ異なる、古い AT 系と新しい PS/2 系の両方のコンピュータで、1 台のキーボードを共有することも可能である。アドバンスドキーボードのピン割り当ては、Aが予約済み、Bがキーボードデータ、Cがグランド、Dがキーボードクロック、Eが5V、Fが予約済み、となっている。コネクタの金色の端子には、左から右に向かってアルファベットの逆順でラベルが付けられている。図 11-8にアドバンスドキーボードのコネクタを示す。

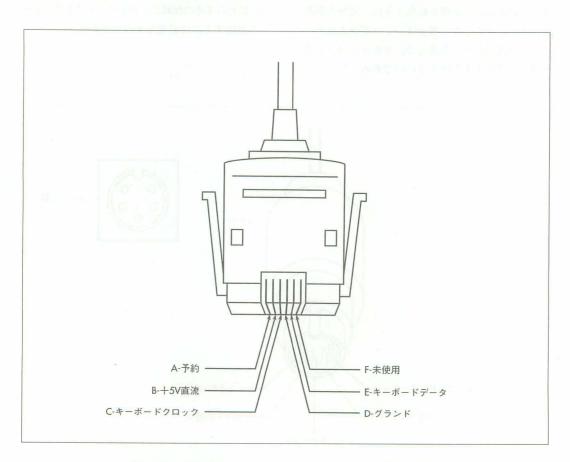


図 11-8 IBM アドバンスドキーボード SDL (モジュラ) コネクタ

PS/2 は、ワイヤの割り当てが異なる、6 ピンの 小型 DIN コネクタを使用している。1 ピンはキー ボードデータ、3 ピンはグランド、4 ピンは 5V、5

ピンはキーボードクロック、2 ピンと6 ピンは予 約済みで、シャシーグランドとしてシールドが付 いている(図 11-9 参照)。

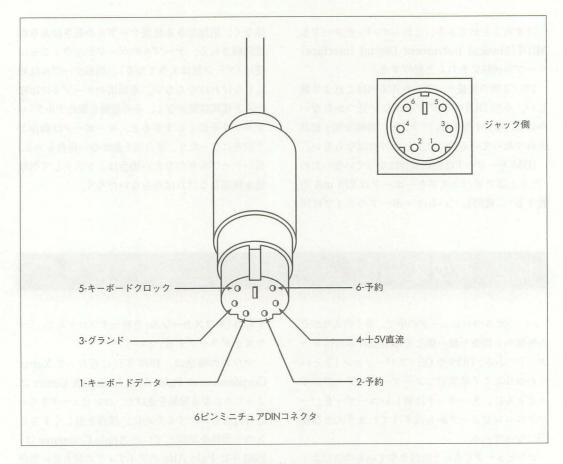


図 11-9 IBM PS/2 キーボードコネクタ

■ キーボード用延長ケーブルの作成

コンピュータから離れてキーボードを使いたい場合は、コンピュータとキーボードの間を走るケーブルを延長することができる。このキーボード延長ケーブルは、様々な長さの完成品が販売されており、その値段もリーズナブルなものからかなり高価なものまでいろいろである。

適当な長さのケーブルが見つからなかったり、あるいは自分専用の延長ケーブルを特別注文した場合の費用(5倍程度)をかけるのがいやなときは、さほど面倒なく自分専用のケーブルを作ることもできる。5ピン DIN コネクタは Radio Shack などのような電器店やパーツショップで入手可能である。部品番号は次のとおりで、それぞれ2ドル程度である。

- ●5 ピンプラグ (オス):「274-003」
- ●5 ピンインラインジャック (メス):「274-006」
- ●5 ピンシャシー取り付けジャック (メス):「274 -005」

どんなワイヤでもほとんど機能するが、シールドケーブルを使うと電波障害を緩和できるだろう。より線は単線よりも湾曲を繰り返した場合の耐久性に優れるので、これを使用したワイヤを勧める。

キーボードの延長ケーブルのかわりに、Radio Shack のモールド DIN パッチコード (部品番号「42-2151」)を使用すれば、必要なはんだづけの回数を半分に減らして、きちんとシールドされたより線ケーブルを手に入れることができる。このケーブルは両端がオスコネクタになっているが、片側を切り取って、かわりにメスコネクタをはんだ

づけすることができる。これらのパッチコードも MIDI (Musical Instrument Digital Interface) ケーブル同様にきちんと動作する。

PS/2 用の延長ケーブルを作るのはこれより難 しい。小型 DIN プラグがなかなか見つからない からである。小型 DIN プラグは、特殊な電子部品 を取り扱っている店に注文しなければならない。

IBM キーボードは節電設計になっていないため (たとえばアドバンスドキーボードは 275 mA 消費する)、使用しているキーボードのタイプに関

係なく、追加できる延長ケーブルの長さはある程度制限される。ケーブルのゲージが小さくなるに従い(ゲージ数は大きくなる)、延長ケーブルは短くしなければならない。電話用のケーブルにはほとんど電流容量がなく、その範囲も極めて小さい。ケーブルを長くしすぎると、キーボードは動作が不安定になったり、まったく動かない場合もある。長いケーブルを作りたい場合は、テストして信頼性を確認しなければならないだろう。

11.2 マウス

パーソナルコンピュータの中で、多くの人々がその外観から近寄り難い感じを最も受けるのはキーボードである。DOS や OS/2 バージョン 1.0 というわかりにくく非寛容なユーザーインターフェイスとともに、キーボードは新しいユーザーをパーソナルコンピュータから遠ざけてしまう大きな要因になっている。

コンピュータをもっと近付きやすいものにしようという努力の中で、1957年から1977年のあいだに、Stanford Research Laboratory の Augmen tation Research Center に所属する Douglaas C. Engelbert は、特殊なポインティングデバイスとの組み合わせで画面上のグラフィカルメニューを起動するユーザーインターフェイスを開発した。画面上のカーソルの動きはデバイスの動きに対応しているので、ユーザーはポインティングデバイスを実際に動かすことによって、選択したいメニューのアイテムを指し示すことができる。アイテムを選択したいときは、デバイスの上部に付いているボタンを使用する。

デバイスは手のひらに十分収まる大きさで、ボタンは指先の下にくるようになっている。コンピュータへ接続する尻尾のように伸びたコードと、機能を遂行するために机上を動き回るその特徴的な動きから、このデバイスはすぐに「マウス」という名がつけられた。マウスおよび画面上でマウスを表

すもの(マウスカーソル)を動かすプロセスを、「マウスをドラッグする」という。

マウスの概念は、1970年代にわたって Xerox Corporation の Palo Alto Research Center によってさらなる発展を遂げた。コンピュータをもっと身近なものにするために、操作を易しくすることの必要性を認識していた Apple Computer は、1983年に Palo Alto のアイディアの最も良い部分を、自社の「Macintosh」に取り入れた。これにはマウスも含まれていた。入力操作の平易性よりも性能に主眼を置いた IBM では、マイクロチャネル PS/2 系の発表時に、マウスはパーソナルコンピュータの内蔵機能とするに留めた。PS/2 系の各マシンにはプレーナーボード回路に特別なマウスポートが組み入れられている。

クリック操作

マウスには、画面上のカーソルを動かす機能に加えて、画面の要素を選択したり、確認する機能がある。この操作をクリックという。"クリック"は、左側のボタンを素早く1回押すことで、"ダブルクリック"は、同じく左側のボタンを2回押すという操作を指す。一般には、ユーザーがソフトウェアのパラメータを調節して、ダブルクリックとして認識されるボタンを押す間隔を決められるようになっている。クリックの間の時間が開きす

ぎると、アプリケーションはそれぞれ単独の *クリック ″操作を 2回行ったと認識してしまう。

一般に、ある対象をドラッグする(ある地点から別の地点まで画面のアイコンを移動させること)ためには、対象の上にカーソルまたはポインタを置いて、左のボタンを押したままマウスを机上で動かす。2、3の最新の製品や、マウスベンダーから供給されるカスタムインターフェイスを除けば、ほとんどのアプリケーションはハードウェア側が3個以上ボタンを持っていても左のマウスボタンしか使っていない。

マウスは、3つの大きな相違点によって分類される。1つはボタンの数、もう1つは利用されているテクノロジー、そしてもう1つはホスト側のコンピュータとの接続方法である。

マウスのボタン

マウスの最も単純な形は、プッシュボタンが1個だけついたものである。マウスの動きによって画面上のカーソルの位置は決定されるが、選択はボタンが押されたときにのみ実行されるので、マウスをうっかりドラッグしてしまって、意図しないメニューの選択肢が選ばれることはない。

1個のボタンはマウスの機能を実行するにあたり、最も混乱が少なく、最少限度の必要を満たしている。コンピュータの操作を簡素化すると、最終的にはボタンを押すか押さないかという単純な操作だけになる。よく考えてメニューの選択肢を作成すれば、コンピュータの全機能のコントロールを1個のボタンで済ますことも可能である。

しかし、ボタンが 2 個あると柔軟性が増す。たとえば、片方のボタンに DO (実行) の機能を割り当て、もう一方に UNDO (取り消し) の機能を割り当てることができる。描画プログラムの場合なら、片方のボタンで画面にラインを引くペンに相当するものを下ろし、もう一方でそのペンを持ち上げるようにもできる。

もちろん、ボタンが3個あればプログラマの自由度がいっそう増すのでさらによいだろう。4個のボタンが可能ならいうまでもない。しかし、こうしてマウスボタンの数が増えるに従い、マウス

は徐々にキーボードに近づいていく。つまり、単純なマウスに比べて習得がとても難しい、手に負えない装置になっていくのである。マウスボタンを必要以上に増やすのは逆効果である。

ボタンが3個なら、親指と小指でマウスの両脇を摑みながら、人指し指、中指、薬指をそれぞれボタンの位置に割り当てられるので、この数は実用に即した限界点といえる。ほとんどのアプリケーションが使用しているボタンの数は2個以下であり、最も一般的なマウスは2ボタンタイプである。3ボタンでもまったく問題はないが(2ボタンマウスで可能なことはすべてできるし、それ以上のことも可能である)、ほとんどのアプリケーションには2個以上のボタンは必要ない。

マウスの動きと押されたボタンの情報は、一連のコードとしてコンピュータに伝えられる。図 11-10~11-11 に、多くの一般的なマウスで使用されるコードを示す。

データは、それによって正確な動作が得られる一連のパルスとしてコンピュータに届く。この作業は、メモリにロードされているインターフェイスプログラムかドライバソフトウェアによって行われる。これらは、DOS レベルのコマンドや Mi crosoft の Windows か、使用しているデバイスが特殊な場合はそれをサポートするアプリケーションと共にメモリにロードされる。

Microsoftのドライバの規格は、すべてのドライバが準拠しなければならない定義である。この代替となりえる入力装置のほとんどは、Microsoftのドライバを "改良した"ものとして、独自の規格を持っている場合もあるかもしれないが、同時にMicrosoft の互換品なのである。Microsoft はソフトウェアの開発者に、多くの高水準言語からアクセスできる 35 個のルーチンを含むマウス機能ライブラリを供給している。さらに、Microsoftのドライバはどんな言語でも、あるいは DOS の "INT 33h"にコールを実行できるアプリケーションならどれでも、直接アクセスできる。Microsoftに準拠したマウスドライバでサポートされる機能は次のとおりである。

3バイト/2ボタン データはマウスの状態が変化したときのみに送信される(スイッチON/OFF、マウスが移動した場合など)。 位置の値は、2の補数の形で送られる。データの転送レートは1,200bpsで、データ長は7ビットワード。 バイト1: 5 0 6 4 3 2 X6 - X7 X6 - X7 - 右スイッチボタン: 1=ON、0=OFF - 左スイッチボタン:1=ON、0=OFF - つねに論理1 - 未使用(7データビットのみ有効) バイト2: 7 6 5 3 2 0 4 1 X0 X1 X2 X3 X4 X5 - 0 未使用 バイト3: 5 3 2 0 6 4

X0~X7=X座標の変化の8ビットバイナリカウント。動きが右方向のときは正。左方向のときは負。 Y0~Y7=Y座標の変化の8ビットバイナリカウント。動きが下方向のときは正。上方向のときは負。

図 11-10 マウスの制御コード (MSC Technologies, Inc. 提供)

- Y1 - Y2 - Y3 - Y4 - Y5 - O - 未使用

5バイト/3ボタン (MSC Technologies) プロトコル 5バイトが1データブロックとして使用される。データブロックの始まりは、最初の5ビットがつねに10,000 (バイナリ) であるシンクバイトで判別される。残りの3ビットはマウスの3個のプッシュボタンの状態をコード化する。次の4バ イトは直前に検出された地点からのマウスの位置の変化をコード化する。2番目と3番目のバイトは直前に検出された 地点からのマウスのXとYの位置の変化をコード化する。4番目と5番目のバイトは2番目と3番目のバイトで示される地点からのXとYの位置の変化をコード化する。つまり、各データブロックはマウスの位置の2回の変化を2の補数の8ビ ットバイナリコードとしてコード化する。 X7とY7はマウスの動いた方向を特定する。X7が0のときは右方向の動きであることを表わしている。Y7が0のときは 上方向(マウスコードの方向)の動きを表わしている。 コードは8ビット長、1,200bps、パリティなしで伝達される。 バイト1: 6 5 4 3 2 0 つねに1 つねに0 つねに0 つねに0 つねに0 左スイッチ(0で押されたことを示す) - 中央スイッチ(Oで押されたことを示す) - 右スイッチ(Oで押されたことを示す) バイト2: 5 2 0 6 4 3 1回目のスキャンのXO 1回目のスキャンのX1 1回目のスキャンのX2 1回目のスキャンのX3 1回目のスキャンのX4 1回目のスキャンのX5 1回目のスキャンのX6 - 1回目のスキャンのX7 バイト3: 7 3 2 0 5 1 6 4 1回目のスキャンのYO 1回目のスキャンのY1 1回目のスキャンのY2 1回目のスキャンのY3 1回目のスキャンのY4 1回目のスキャンのY5 - 1回目のスキャンのY6 1回目のスキャンのY7 バイト4: 0 6 5 4 3 2 1 2回目のスキャンのXO 2回目のスキャンのX1 2回目のスキャンのX2 2回目のスキャンのX3 2回目のスキャンのX4 2回目のスキャンのX5 2回目のスキャンのX6 · 2回目のスキャンのX7

図 11-11 マウスの制御コード (MSC Technologies, Inc. 提供)

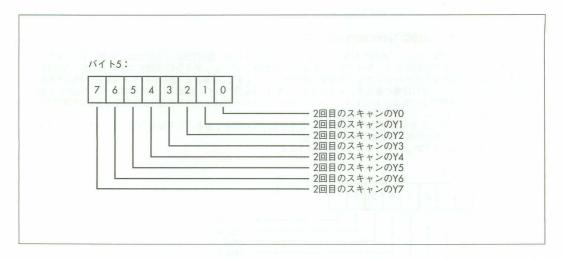


図 11-11 (続き)

- ●マウスのリセットとステータス
- ●カーソルを表示する
- ●カーソルを消す
- ●ボタンの状態とマウスの位置を知る
- ●ボタンが押されたという情報を得る
- ●マウスの動きのカウンタを読む
- ●マウスの感度をセットする

左ききの人用に、ほとんどのマウスドライバは マウスのボタンを好きなように変更できるように なっている。

機械式マウス

最初のマウスは機械式の設計だった。この設計の基本になっている小さなボールは、本体の底からはみ出ており、マウスが動かされるとともに、面に沿って回転する。また、このボールは回転するとともに、それがはめ込まれているくぼみの中で、感知ローラーと接触するようになっている。

マウスが机上に沿って動くと、ボールがローラー (Microsoft はこれを "シャフト"と呼んでいる)と接触してこれを回転させる。このローラーの先には電極 (プリントパターン) が輪状に並んでいる回転盤 ("エンコーダ"という) が付いている。ローラーの回転に伴い回転盤が回ると、ブラシ(電極)が回転盤の電極と接触する。この接触によって電

パルスは、回転の方向によって必ずマイナスかプラスのどちらかになる。パルスの極性からマウスの動いている方向を、パルスの速度からマウスの動いている速さを電子回路を通して知ることができる。マウスボールがはめ込まれているくぼみの中の2本のローラーは、横と縦の動きが測定できるように互いに90度の角度をなしている。両方のローラーが回転しているときは、マウスは斜めの方向に動いているのであり、電子回路で相対的

気パルスが生成され、電子回路でカウントされる。

アプリケーションに何が選択されたか知らせる クリック動作を検出するために、1個以上のマイ クロスイッチが使用される。スイッチが閉じられ ると単純なオフまたはオンの状態として判断され る。1回素早く閉じられると1回クリックされた ことになる。連続して素早く2回閉じられた場合 はダブルクリックということになる。

な速度とパルスの極性を判断して、動きの正確な

方向を割り出すことができる。

ボールはどの方向にも自由に回転するが、2次元の座標系の2本の軸に対応して、4方向の回転だけが認識される。4方向の動きはそれぞれ量子化され(百分の1インチ単位)、それぞれの移動の増加量が別々の信号としてホストへ送信される。

機械式マウスはどのような表面でも概動作する。 なめらかな表面でも滑らないように、ボールの表 面は、きめが粗い合成ゴムでできているのが一般 的である。実際、機械式マウスを持ち上げて指で ボールを転がすこともできる(ただしこの状態で プッシュボタンを指で触るのは難しいだろう)。

機械式マウスは何かの表面にあてて動かすという動作が必要だが、これに対して、机上にはマウスをうまく動かすための十分なスペースがない場合が多い(もちろんほかに方法がなければ、機械式マウスをズボンやスカートの足の部分の上で動かすこともできるが、これは他人からは奇妙な格好に見えそうだ)。さらに、機械的な部品は壊れる可能性がある。機械式マウスにはほこりや糸屑などが入りやすく、これらはマウスの適切な動作の障害となる。自分の机の上はきれいだと思っていても、そのうち定期的にマウスを掃除したくなるはずだ。

機械式マウスは IBM、Logitech、Microsoft を 含めて多くの会社で製造、販売されている。

光学式マウス

機械式マウスに代わるテクノロジーが光学式マ ウスである。光学式マウスでは、回転するボール の代わりに、光線を使って、ある特殊な模様がつ いたマウスパッドの上のマウスの動きを検出する。 動く部品がないということは、光学式マウスはご みが入ったり壊れたりする可能性が低いというこ とである。最も一般的な光学式マウスは MSC 社 (この社名は旧社名の "Mouse System Corpora tion"から付けられた) 製のものである。MSCマ ウスは、底に2組の LED とフォトディテクタが あり、LEDとフォトディテクタは互いに直角を向 いている。マウスパッドの表面は、ブルーとイエ ローのグリッドが重なったパターンで覆われてお り、LED とフォトディテクタの2つのペアはそれ ぞれ、グリッド2つの軸に対する2方向の動きを 検出する。

パッドから反射した光は、まずマウス内部の小さな受光器に入り、あるものはプリズムかレンズを通って、センサーに光を反射させる鏡まで到達するように設計されている。反射パッドはきわめて細かいグリッドのラインに分割されている。これらのライン上でマウスを動かすと、内部の電子

回路が光の変化を読み取りパルスをカウントする。 パルスを受け取りカウントするときの光学式マウスの働きは、機械式マウスやオプトメカニカルマウスと変わらない。ただし、光学式マウスには 機械部品がないので、動かしたときの感触は明らかにほかのマウスとは違うはずだ。マウスの底の 部分はフェルト状のものでカバーされているため、 プラスチックでコートされているマウスパッドの

上のマウスの動きはスムーズである。

光学式マウスの大きな欠点は、専用のマウスパッドがかならず必要なことである。しかしこれは逆に、マウスパッドをどこかに置きさえすれば、つねにマウスを動かす場所を確保できるということでもある。パッド自体は汚れるし傷もつく。また、マウスパッドはプラスチックでコートされているため、湿気の多い日には手に貼り付いて持ち上がってしまうという欠点もある。しかしながら、エアコンのある普通のオフィス環境では、このパッドは耐久性があり、問題もないことが分かるはずだ。

オプトメカニカルマウス

オプトメカニカルマウスは、機械式マウスと光学式マウスの中間に位置するハイブリッド設計である。この設計では、純粋な機械式マウスと同じようにボールが機械的にローラーを回転させるが、メカニカルな電気接触を使用する代わりに、オプトメカニカル設計によって溝もしくは穴のあいた輪が回転するようになっている。LED(発光ダイオード)がこの輪を通して光り、光学センサーがその結果生じるパルスをカウントするという仕組みだ。

オプトメカニカルマウスは、基本的には純粋な機械式マウスと、動かしたときの感触は変わらないし、内部の電子的な働きも基本的には同じである。両者の違いは電子的なパルスの生成方法だけである。

シリアルマウス

コードをコンピュータに伝達するために、マウスは何らかの方法でコンピュータに接続されなければならない。マイクロチャネル PS/2 は、専用のマウスポートを搭載してこの接続を簡単にして

いる。しかし、PCや多くの互換機にはこのポートは装備されていない。

ほとんどのマウスは一般的に利用が可能なポート、つまり標準シリアルポートに適合している。このマウスはシリアルマウスと呼ばれ、接続するだけでマウスの動きを表わすコードがシリアルポートへ伝わるようになっている。マウスを動作させるためのドライバソフトウェアは、ポートにマウスの新しい動きを示すコードが現われるたびに、割り込みを生成してマウスに優先権を与える。ドライバはそのとき、マウスのコードを制御下にあるソフトウェアへ転送する。

シリアルマウスの長所の1つは、ほとんどのコンピュータが現在持っているポートにすぐに接続できるということである。しかしこれは同時に、モデムやデスクトップネットワーク、プリンタ、そしてこれ以外でシリアルコネクタに接続する装置を持っているユーザーにとっては、不都合な点でもある。シリアルマウスはコンピュータに適切なドライバがインストールされていれば、どのコンピュータでもすぐに使用できる。

バスマウス

シリアル接続によるマウスはうまく動作するが1つだけ問題がある。2つのシリアルポートをすでに使用しているパーソナルコンピュータでは、マウスのために使用できるポートがないということだ。この代替手段として、コンピュータの拡張バスに接続する専用のマウスアダプタにマウスを接続する方法がある。このいわゆるバスマウスは、専用のポートを使用しているという点を除けば、シリアルマウスとまったく同じように動作する。

ほとんどの場合、この特殊なマウスポートはRS-232 規格に準拠しており、DOS が直接アクセスできない点を除けばシリアルポートとまったく同じ働きをする。DOS がこれに直接アクセスできないのは、オペレーティングシステムはポート

がどの I/O アドレスに割り当てられているかわからないからである。この点を除けば、バスマウスはほかのマウスとまったく同じで、光学技術でも機械的な技術でも利用でき、ボタンの数の制限もない。

バスマウスはアダプタカードを用意するために 余計な費用がかかるので、余分にシリアルポート を持っている人は恐らくシリアルマウスのほうを 選ぶだろう。しかし、シリアルポートが足りない人 はバスマウスを手に入れなければならない。IBM PS/2マウスはホストコンピュータに内蔵された アダプタを持った一種のバスマウスである。

ワイヤレスマウス

マウスとコンピュータの接続方法として前述の タイプとはまったく異なるのものに、接続を一切 使用しない方法がある。これがワイヤレスマウス である。この装置では、コードは低出力の無線信 号か赤外線信号を使って、ホストのコンピュータ へ送信される。マウス本体は、標準的な機械式あ るいは光学式の装置である。

ワイヤレスマウスによってユーザーは、ワイヤ を机上でくねらせてマウスを使用しなければなら ないという比較的小さな制約から解放される。また、コンピュータから少し離れた演台でプレゼン テーションを行う場合にも有効だろう。

赤外線技術は無線システムより安く装置を準備できるが、送信機(マウス)から受信機(コンピュータのシリアルポートかバスポートに接続されたボックス)の間に、遮られない赤外線信号の通路が必要である。テレビやビデオのリモコンに使われているような赤外線信号は、受信機から約15フィートまでの範囲内なら有効である。信号は必要な場合は天井や壁で反射させることもできる。

無線システムは、受信機が見えないような位置 でも使用することができ、赤外線のような制約は ない。

11.3 トラックボール

トラックボールはマウスを逆さまにしたものと考えればよい。マウスのようにボールはくぼみにゆるくはめ込まれており、その中でボールが動くことによってセンサーも動き、横や縦の動きを探知できる。トラックボールの長所は、キーボードの本体に組み込めるため、通常のマウスの操作に必要なデスクスペースが要らないということである。トラックボールは机上でハードウェアを動かすかわりに、ユーザーが手を使ってボールを転がして使用するのだ。

トラックボールの設計にも大きく2種類あり、1 つは動かすボールが手のひらサイズの大きいもの で、これはボールの回転が大きい割には画面上の 動きは小さい。もう1つは、小さなビー玉大のボールを使用したもので、少ない回転で大きいカーソルの動きを生じる。

ラップトップやノートパソコンでの使用を目的 とした小型の "クリップオンマウス"の設計にもト ラックボールが応用されている。

トラックボールに求められる重要な機能は、ドラッグ/ロック機能(ボタン)である。この機能があれば、画面上の要素をある位置から別の位置へドラッグするときに、トラックボールのクリックボタンに指をのせたままボールを転がす必要がなくなる。

11.4 ジョイスティック

ジョイスティックの働きは、それぞれが縦と横の動きをモニタするセンサーを持っている点で、基本的にマウスと同じである。一般的にジョイスティックでは、ローラーのかわりに圧力感知回路

か機械的な分圧器を使用している。これらは電子 回路の抵抗を変えることによって電圧を変えるも のである。

11.5 解像度

解像度は、入力デバイスがどれぐらい小さな距離まで判断できるかという能力を表わすものである。一般に最新のマウス設計では、1インチあたり400ポイント(ppi:points per inch)の解像度をサポートしている。これは初期のモデルの解像度の2倍にあたる。中には700ppi、1000ppi、あるいはそれ以上の解像度をサポートしている製品もあるが、約700ppiを超えると、平均的なユーザー、特にVGA程度もしくはそれより低い解像度の画面を使用しているユーザーには、デバイス

の感度は過剰になる。

機械式マウスやオプトメカニカルマウスによる 高解像度のサポートは、回転盤の光を通す穴や電 極が多くなると、機械式のブラシが見逃してしま うセグメントが多くなるという問題を含んでいる。 光学式マウスによる高解像度は、縦と横のグリッ ドラインの間隔と、グリッドを読み取るマウスの 電子回路の能力によって決まる。

マウスベンダーの中には、物理的な解像度は変えずに、ソフトウェアのルーチンを使って有効解

像度を変えているところもある。実際のパルスを カウントしてから物理的なパルスの間に落ちてし まったデータを補正することによって、高解像度 の性能をシミュレートすることができる。

アプリケーションによっては、解像度はほかの何よりも重要な要素になる。たとえば、ワードプロセッサや表計算ソフトでマウスを使用する場合には、文字やセルにカーソルを動かすなど、比較的大きな解像度で十分でだが、グラフィックスを操作するのであれば高解像度は必須である。

低解像度マウスと高解像度マウスを、すべての 条件を同じにして使用すると、画面の動きの速度 に違いがあることにすぐ気付くだろう。高解像度 マウスは低解像度マウスより感度が高くスピード も速い。 多くの入力装置では、ユーザーがその感度、つまり、装置の実際の移動距離と画面上の移動距離 の関係を変えられるようになっている。高感度というのは、より小さなマウスの動きで画面上のポインタを大きく動かすことができるということである。

同様に、アクセラレーション機能は、通常はソフトウェアの設定で変更できるようになっている。アクセラレーション機能は、マウスを動かしたときのマウスの速度および移動距離と、カーソルの動く速度および移動距離の二者の関係である。マウスを動かしたときの速度が速くなるに従い、画面上のポインタまたはカーソルの1パルスあたりの移動距離は大きくなる。逆に、マウスの速度が低下するとカーソルの移動距離は減少する。

11.6 ライトペン

画面を直接指し示すことができると、コンピュータに対する指示が明確になることがある。もし、 画面上のあるものを指で差して移動させることが できれば、コンピュータの迅速で、簡単な制御が 可能になるだろう。

ライトペンはまさしくこれを実現するものである。ライトペンは形はペンのようだがコードがついており、画面のある位置をペンで指すと、コンピュータがその位置を認識できるようになっている。この仕掛けはペンの中にある。ペンの先端は明るさの変化が検出できるフォトディテクタになっている。コンピュータのモニタのブラウン管は、電子光線が画面上のきわめて小さな点を走査することによって、その点を点灯させて表示を行っている。画面の各点は光線が当たるたびに一瞬光る。光線はブラウン管の表面の走査をとても速い速度で繰り返す(毎秒50回から70回)ので、肉眼ではずっと光ったままのように見えるが、ライトペンの高感度の目にはそうでないことがわかる。

ライトペンは画面の点が光ると即座に記録して、 コンピュータに信号を送る。コンピュータは走査 している電子光線の位置をつねに知っているので、すぐにペンの位置を算出することができる。こうしてライトペンによって、コンピュータは画面のどこを指されているかわかるのである。

ライトペンはポインティング動作が必要なものなら何にでも使用できる。たとえば、描画プログラムではこのライトペンを利用して、まるでペンにインクが入っていてモニタの画面が紙であるかのように、画面上に線を引くことができる。ライトペンはグラフィック編集にも使用でき、グラフィックアーチストは画面をペンで指したり、修正したり移動したい部分をペンで囲むだけでいい。

モニタの解像度の限界が低いとライトペンは効果がないという点や、一日中画面に向かってライトペンを使用すると腕が疲れてしまうという点を除けば、ライトペンは概して素晴らしいアイディアといえよう。

IBM は、PC、XT、ATで使用するグラフィックディスプレイアダプタに、ライトペン用のインターフェイスを装備している。ただし、カード上にヘッダコネクタが付いているだけなので、ユー

ザーはそのコネクタから外側にあるライトペンまでつなぐケーブルを用意しなければならない。ほとんどのライトペンは、IBMのモノクロディスプレイでは動作しないため、モノクロのアダプタにはライトペンのインターフェイスは含まれていない。IBMのモノクロディスプレイでライトペンが使えないのは、その緑色の画面の発光は残光時間が長いため、ライトペンが画面上の自分の位置を検出するのに必要なシャープなオン/オフの変化

が得られないからである。

ライトペンは、それだけではほとんど何の役にも立たない。ライトペンは I/O ポートに信号を供給するだけで、何が信号を処理すべきか考えるのはソフトウェアの仕事である。ライトペンを使うためには、特別なソフトウェアドライバか、ライトペンを使用するために特別に書かれたアプリケーションが必要である。

11.7 タッチスクリーン

指を差すという動作は、人間にとってきわめて自然な動き (無礼になる場合もあるが) なので、データ処理の制御用にこの人間の機能を利用して、いくつかの技術が開発されてきた。最も自然なポインティングデバイスは、当然「人差し指」である。好みの問題を抜きにすればほかの 4 本の指もそうである。コンピュータに指が差している対象を認識する手段を与えれば、人間の小さな付属器官である指が、本物のデジタルインターフェイスに変身する。

タッチスクリーンはまさにこの目的で開発され たものだ。このテクノロジーはコンピュータのディ スプレイスクリーンの上もしくは近くに指が存在 することおよびその位置を検出することができる。 これまでに少なくとも2種類の検出方法が開発さ れている。1つは、画面の表面に直接接触するこ とによって、指の存在を電気容量の変化で検出す る方法である。もう1つは Hewlett-Packard 社 のタッチスクリーンシステムに採用されている方 法で、画面の周囲に特殊なフレームを使用するも のである。このフレームは長方形で、直交する2 つの辺には目に見えない光を発する LED が、ま た、それぞれの反対側の辺にはフォトディテクタ がついている。画面に指が近付くと継続していた 光線の流れが遮断されるため、コンピュータはそ の位置を特定できるという仕組みである。

タッチスクリーンのテクノロジーは極めて自然なインターフェイスだが、それゆえに必然的な問題を抱えている。ライトペン同様に、画面に手を伸ばして通常の日常業務を行わなければならないため、二頭筋と三頭筋は大いに鍛え上げられ、この作業で腕はすっかり疲れ果ててしまうのだ。また、画面には油よごれが付着しがちで、多人数でコンピュータを共有している場合は特に画面の手入れが行き届かなくなり、画面は得体の知れない汚染菌や微生物の温床となってしまうかもしれない。

タッチスクリーンの最も大きな問題は、精度というたいへん現実的な問題である。ライトペンが一定の画素をすべて指示できるのに比べると、タッチスクリーンのポインティング能力は実にお粗末なものといえる。画面は碁盤模様に分割された約16×16の解像度しかない。タッチスクリーンはメニューの選択には有効だが、画面上でのグラフィック編集や製図といった用途を満足させることはほとんど不可能である。

タッチスクリーンは、実行したい機能を指で差すことができるという特徴を生かし、コンピュータ処理の複雑性に精通していない一般大衆とコンピュータとを結ぶ手段として効果的に利用されてきた。しかし、コンピュータに熟練したユーザーにとっては、タッチスクリーンは風変わりな時代錯誤に感じられることだろう。

11.8 ペンコンピューティング

論理的には、ペンコンピュータはカーソルキーやマウス、キーボードがなくてもコンピュータの使用を可能にしたもので、ペンコンピュータを使えば手書きのメモもコンピュータが理解できる情報に変えることができる。このテクノロジーは研究所から出て市場へと歩き始めたばかりであるが、様々な点で、問題の新しい解決法となるものだ。

ペンコンピュータは、ジェスチャと呼ばれるペンの動きを認識するように改良されたオペレーティングシステム (DOS ベースまたは Windows ベース)をベースにしている。普通のオペレーティングシステムとペンコンピュータ用のオペレーティングシステムで大きく異なるのは、キーストロークに相当する手書きされたキャラクタを、コンピュータが記録できるキャラクタに変換するプログラムの存在である。ペンコンピュータ用のシステムでは、手書きのイメージをベクトルをベースにしたグラフィックとして記録する。グラフィックプログラムでは、画面は1枚の電子的な紙として、また画面に置かれる筆跡は "インク" データとして扱われる。

文字認識システムでは、手書き文字を英数キャラクタに変換できなければならないが、初めて文字認識が行われた頃は、1 文字あるいは1 数字あたり約 98%の成効率しか保証されていなかった。98%というと、とても高い認識率に思われるかもしれないが、実際はそれほどよいわけではない。98%というのは、5 つのキャラクタで構成される平均的な単語の場合は、実際の認識率は約 90%ということになるからだ。これをさらにいい換えると、10 個の単語のうち1 個は誤認識されるということである。

プラスの面として、ペンコンピュータの最大の

有用性は、在庫管理システムのようなチェックリストを使用するアプリケーションにあるといえるだろう。

多くのペンコンピュータメーカーは、この賭け の逃げ道として、キーボードを付属したシステム や、ポートに外部キーボードが接続できるシステ ムを発売している。

ペンオペレーティングシステム

ペンポインティングデバイスを使用するための 制御プログラムの中で、主な2つは、Microsoft の「Windows for Pen Computing」と GO Corpo ration の「PenPoint」である。

Microsoft の Windows の下で走る既存のアプリケーションに、ペンポインティングや手書き認識の機能を追加するには Windows for Pen Computing が適当である。これであれば Windows 用にすでに設計されている莫大な数のプリンタドライバやほかの装置でも動作する。ペンオペレーティングシステムで作ったファイルは、標準の Windowsで直接動作する。

Microsoft の製品には、ユーザーの手書き文字を認識するために、コンピュータに "学習" させるシステムが含まれている。

多くのペンベースシステムにインストールされている PenPoint は、文書をあたかもノートの1ページのように扱っている。ページを選ぶと、同時にそのページが作成されたアプリケーションも一緒にオープンするのだ。オペレーティングシステムは DOS とは互換性はない。PenPointで作成されたファイルを別のコンピュータで走らせるためには変換する必要がある。

11.9 そのほかの入力装置

コンピュータメーカーは、コンピュータの手となるような道具を探し続けている。この市場で最も大きな動きを見せているのが Microsoft と IBM だ。

IBM の「PS/2 Trackpoint」は、狭いスペースでの使用を目的にした小型のマウス/トラックボールのような装置である。Microsoft の「Ball Point Mouse」は、ラップトップ用キーボードの端にはさんで固定してポインティングデバイスとして使用する。

Prohance の「Powermouse」は、すべての数字 キー、Backspace キー、Escape キー、それから Menu、File、Format などのカスタムキー、そし てアプリケーションによって機能が変更できるテ ンプレート付きの 10 個のプログラム可能キーが 付いたものだ。

Calcomp の「Wiz」は、マウスとグラフックスパッドを組み合わせたもので、パッドには様々なアプリケーションに合わせて使用できる多色のカバーシートがついている。マウスには6個のボタンがあり、1000dpiの解像度で操作できる。さらにオプションでペンも追加できる。

米国の大きなキーボードメーカーである Key Tronic Corporation は「Keymouse」という入力 装置を発売している。これは文字キーの1つを(普通は J) 特殊なグリッドベースのスイッチにしたキーボードである。キーボードをマウスモードに

切り換えると、このキーは各方向から加えられる 圧力を感知して、マウスのように画面上のカーソ ルを移動させることができる。ほかにもマウス機 能用に特定のキーを専用に割り当てた製品がある。

Grid Systems Corporation はポータプルタイプのマシンやラップトップコンピュータ用の入力補助装置を提供しているメーカーの1つである。たとえば、「GridPAD Computer」は、縦横が9×12インチで、1インチをわずかに超える厚さのケースに収められている。ケースの上部は描画画面になっており、電子ペンを使って入力ができる。ユーザーが画面に直接書き込みを行うことによって、電子ファクシミリのビジネスフォームに記入できるようになっている。

Gridの製品には、これ以外にもあまり一般的ではないが、「Isopoint」というポインティングデバイスがある。この回転しながらスライドする装置は、いくつかのモデルではキーボードのスペースバーの下の部分に組み込まれており、親指で回転させたり、横にスライドさせたりして使用する。スペースバーに並行な長方形のキャリアの中に短いシリンダがあり、このシリンダを上下に回転させると、画面上のカーソル(ポインタ)も上下に動き、シリンダを左右にスライドさせると、カーソルもそれに応じて移動する。また、Isopoint全体がマウスボタンの代わりになっているので、どこでも好きなところを押せばいい。

11.10 割り込み動作

標準 ISA バスコンピュータで使用される入出力 装置はいずれも、マイクロプロセッサがどこを見て 情報をどう処理したらいいかわかるように、I/O アドレスと IRQ(割り込み要求)の設定が必要であ る(マイクロチャネルと EISA ボードはこれらの 割り当てを自分自身で扱う機能を持っている)。 メモリ内の装置の割り振り場所を表わす I/O アドレスは、16 進数で表わされる。IRQ は装置がプロセッサに伝えるウェイクアップコールである。

80286、386、486 をベースにしたコンピュータは 16 個の IRQ が使用でき、これらには 0 から 15までの番号が付けられている。古い 8088 や 8086

ベースのコンピュータでは、IRQ は 0 から 7 まで の 8 個しかない。16 ビットコンピュータで 8 ビットのカードを使用する場合は、カードは最初から 8 番目までの IRQ を使用する。

I/Oアドレスは通常特別な位置に割り当てられている。以下は標準の割り当て場所といくつかの装置のデフォルト設定である。

I/O IRQ

COM1 03F8H IRQ4

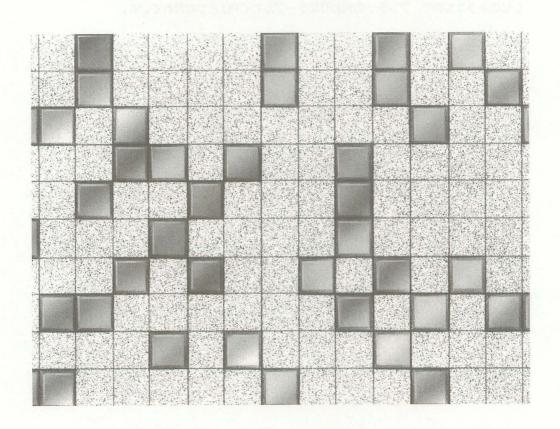
COM2 02F8H IRQ3

LPT1 0378H IRQ7 LPT2 03BCH IRQ5

コンピュータのバスに接続する装置の割り込みとメモリの割り当てには注意しなければならない。 競合する場合には再割り当てが必要になる。自分で行った割り当てのリストは、メモを残してコンピュータの側にでも置いておいた方がよいだろう。 また、システムの中の装置の設定リストを作成するユーティリティや診断プログラムも使用できる。

第12章

ディスプレイシステム



パーソナルコンピュータのディスプレイを見れば、そのマシンが仕事を確実にこなしているかどうかがわかる。これは、ディスプレイが視覚的なフィードバックを即座に返してくるからであり、それによってパーソナルコンピュータは、ユーザーに対して対話型の操作方式を提供することができるのである。ディスプレイシステムは、パーソナルコンピュータの動作速度に大きく影響を与え、また、パーソナルコンピュータを使用するユーザーの楽しみ(もしくは苦しみ)もここから反映されるといっていい。ディスプレイは様々な技術を結集して作られており、そこに何を表示するか、表示の鮮明度や表示速度をどうするかといったことにも、様々な選択肢が用意されている。

「百聞は一見に如かず」というが、計算や文字入力の結果を見ることができなければ、パーソナルコンピュータはツールとしてまったく役に立たない。コンピュータがどういう仕事をしたのか、また時間をさいてまでコンピュータにデータを与えたのにうまく行かないのはなぜかを知るには、コンピュータの出力を目で確かめる手段が必要だ。コンピュータから出力されるものを見るためには、現在はビデオディスプレイが使われている。これはちょうどテレビのようなもので、アンテナの代わりにケーブルで CPU とつながれている。

12.1 ディスプレイの基礎

コンピュータが考えていることを出力する装置としては、ビデオディスプレイが最初ではない。テレビが発明される以前、少なくともテレビが商品化される以前にコンピュータは存在していた。初期のデータプロセッサは、出力装置として、その先祖にあたる機械式の計算機が使用していたのと同じ「プリンタ」を使っていた。つまり、処理結果を印字データとして出力していたのである。ビデオディスプレイを使用する今の時代から見ると、にわかには信じがたい世界である。

テレタイプ出力

プリンタの中ではテレタイプが主流で、単語や数字を送り出す装置として長らく利用されてた。初期のコンピュータは、1回に1つずつキャラクタをテレタイププリンタに送っていたが、それはまるで、慣れないキーボードを使い始めた人が、長い文章を1文字ずつ打っているようなものだった。

ビデオターミナル

現在では、テレタイプは絶滅寸前の種か、骨董品といった状態になってしまったが、テレタイプが使用していたデータ転送や表示の方法は、いまだにハイテク玩具の分野で役に立っている。これらの機械は、キャラクタを用紙にこつこつ打ち出すのではなく、電子的なテレタイプ、つまり、コンピュータ端末にキャラクタを送信する。この装置はビデオデータ端末(VDT: Video Data Terminal、ビデオ表示端末=Video Display Terminal と呼ばれることもある)と呼ばれているが、それは、この装置が表示のためにビデオディスプレイを使っており、また、通信回線の終点であるユーザーの目の前にあるからである。

最も初歩的な端末は、"ダムターミナル"といわれるもので、これは、送られてきたキャラクタを 用紙の代わりに、蛍光物質でコートされた画面上 にそのまま表示するだけである。これには特筆す べき機能はほとんど見られない。用紙をガタガタ 回す代わりに、電子の行が次々に上へ巻き上げられていくように見えるだけだ。当然、この端末は 用紙切れに困るということはない。新しい行を受け取るたびに、画面をスクロールアップさせて、 表示に必要な空白のスペースを下へ用意するので、 視覚的にはスクリーンが次々新しく供給されるように見える。だた残念なことには、この出力表示の鮮明度は薄紙より劣る。また、画面上方の表示からどんどん消えてしまうため、表示を二度と見ることができなくなるという欠点もある。

一方、スマートターミナル (インテリジェントターミナル) と呼ばれるものは頭がよく、コンピュータのようなデータ処理をある程度行う能力がある。スマートターミナルは、ディスプレイを制御する特殊なコマンドが理解できるため、ある種のコンピュータのような機能さえこなすことも可能だが、最も頭の良いターミナルでも、普通のダムターミナルのような仕事に追いやられていることが多い。

印字する用紙は一方向にしか動かないという特性が、機械的なテレタイプの動作を限定してしまっている。用紙もテレタイプの出力も、けっして後ろへ戻ることはできず、株式相場表示器のように、延々とテキストの帯を出し続けるだけである。テレタイプはすでにタイプされたものの上にはタイプすることはできないし、後方へジャンプさせるには、空白行が印字されているかのように、根気よく用紙を前に送り続けなければならない。

電子的な方式をとるコンピュータ端末で、テレタイプ式にテキストを扱うということは、画面上のキャラクタの1つを変えるのに、テキストが表示された全画面を、まるまる作りなおして端末に送るということである。このシステムでは、表示のバックアップを取っておいて、変更すべきキャラクタを1つだけ変えるということはできないため、画面を急いで前へ送って、その後で表示全体を再生しなければならないのである。

大昔のコンピュータやガタガタいうテレタイプ は、現在ユーザーの机上にあるような静かで行儀 のいいパーソナルコンピュータとは似ても似つかないものである。しかし、最も単純なプログラムには、このきわめて原始的なビデオ画面の通信方法が受け継がれている。つまり、そういうプログラムは、生成したキャラクタを1つずつディスプレイに送るのである。ただし、通常の通信とは異なり、この場合テキストデータは、はるか遠くへ移動するのではなく、単にパーソナルコンピュータ内のあるメモリから別のメモリへ移るだけである。プログラムは、コンピュータのビデオシステムを、端末の画面のと同じように操作しているのである。

多くのコンピュータがやむを得ず採用しているこのビデオ表示方式は、テレタイプディスプレイと呼ばれる。最初の PC 以降発展してきた IBM 標準機にとって、テレタイプディスプレイは、初歩的なプログラムや、洗練されていてもプログラマが見栄えを良くする仕事を怠っていたプログラムで使用されている、過去の遺物にすぎない。しかし、IBM のシステム BIOS は、テレタイプの出力を最も高いレベルでサポートしている。

実際には、この BIOS のサポートが、かえって テレタイプディスプレイの速度を落としている。 これは、IBM の BIOS は、キャラクタのひとつひ とつをソフトウェアに扱わせるためだ。標準的な システムのファームウェアには、プログラムから キャラクタを取り出して次のビデオメモリに格納 するコマンドしかないため、各キャラクタを表示 するたびに、一連のプログラムインストラクショ ンが実行されなければならず、そのインストラク ションの実行には相応の時間がかかるのだ。

このように、ソフトウェアによる処理にはオーバーヘッドがあるため、テレタイプディスプレイの実際の速度は、マイクロプロセッサの性能に左右される。プロセッサが高速であればソフトウェアも高速に実行されので、画面表示も高速になる。

キャラクタマッピング

数年のうちに、パーソナルコンピュータの画面 上にテキストを表示させる方式として、キャラク タマップディスプレイが主流になった。この技術 は、表示するキャラクタを格納する場所として、

のいいパーソナルコンピュータとは似ても似つか メモリ上の特定の場所を確保し、プログラムはそないものである。しかし、最も単純なプログラム のメモリのデータを然るべきメモリへ入れるだけには、このきわめて原始的なビデオ画面の通信方 で、画面にテキストを表示することができるとい法が受け継がれている。つまり、そういうプログ うものである。

パーソナルコンピュータで利用されている一般的なキャラクタマップディスプレイのシステムは、画面を横80字、縦25字のマトリックスに分割して扱っている。画面にキャラクタを表示するには、そのキャラクタに対応したコードを、マトリックスのセルに書き込むだけでいい。また、画像を表示する際には、ディスプレイシステムがマトリックス全体を読み出し、これをモニタ画面を走査するシリアルデータのストリームに変換し、そのデータをビデオ出力へ送るのである。ここから先は、信号の取り扱いはモニタに任せられる。

変換を行う速度が速いことは、キャラクタマップディスプレイシステムの1つの長所といえる。プログラムは、キャラクタを画面上の上下左右どこにでも、好きな順で置くことができる。キャラクタの上に別のキャラクタを重ね書きすることもできるし、上書きをして前のキャラクタを消してしまうこともできる。変更する必要のあるキャラクタだけメモリを書き換えればよいため、画面の更新を高速に行うことができる。プログラムがキャラクタをディスプレイメモリのマトリックスに入れたあとは、そのプログラムがキャラクタを移動させるか、あるいは別のソフトウェアがそのメモリを書き換えるまで、キャラクタはそのままでいる。

キャラクタマッピングを行うには、画面メモリの各アドレスの正確なロケーションをアプリケーションが知っている必要がある。すべてのパーソナルコンピュータですべてのアプリケーションが動作できるようにするために、各システムが使用するアドレスは同じでなければならない。さもなければ、どのアドレスが使われているかを調べる手段が必要になる。

最初の PC で IBM は、画面に表示するキャラクタを格納するために、2 ブロックのアドレスを予約した。1 つはカラーテキスト用、もう1 つはモノクロ用で、DOS メモリの上位にあったが、IBMはこれを公式な標準規格にしようとはしなかった。しかし、ソフトウェアのプログラマは、ソフトウェ

アを許容できる速度で動かすには、このキャラクタマップモードを使うしかないと考えた。そして、業界全体がこのアドレスをあてにしてソフトウェアを書くに至り、IBM が標準化しなかったこのアドレスは非公式な標準となった。

IBM 方式では、パーソナルコンピュータをカ ラーモードで動作させる場合は画面メモリのある アドレス領域を使い、モノクロの場合は別の領域 を使う。IBM の BIOS は、システムが現在どちら のモードを使っているのかを表わすために、特殊な フラグを用意している。これはビデオモードフラ グ(最初 IBM はビデオ装置フラグと名付けた)と 呼ばれるもので、絶対メモリの 0463h 番地にある。 このフラグを 0D4h にセットすると、システムが カラーモードで動作していることを示し、B8000h で始まるアドレスがディスプレイテキストメモリ に使用される。モノクロモードだとフラグは 0B4h にセットされ、B0000h で始まるアドレスが使用 される。IBM の新しいビデオシステムもすべて、 互換性を維持するために、この同じアドレスを使 用しているが、実際には新たに追加されたビデオ 情報はほかの場所に記憶されている場合もある。

BIOSは、このフラグ以外にはキャラクタマップディスプレイをサポートする機能を持っていない。キャラクタマップディスプレイを使用しても、プログラムにさらなるオーバーヘッドが課されることはないため、これで問題ない。実際、ソフトウェアは、簡単に画面メモリへ直接書き込むことができる。キャラクタマップモードがダイレクトライティングとも呼ばれるゆえんである。

キャラクタボックス

テキストモードでは、ディスプレイメモリのアドレスに記憶されるコードは、画面に表示される文字の形には直接関与しない。別の場所にある文字パターンへの参照点を表わしているだけである。画面に表示される各キャラクタの実際のパターンは、キャラクタ ROM という特殊な ROM チップに記憶されている。これはビデオ回路の一部で、ビデオ回路は、キャラクタを定義しているデータを手がかりに、そのキャラクタに対応したパターンを探す。キャラクタ ROM にあるビットパター

ンは、走査されて画面に送られ、最終的に画像として現れる。画面上のキャラクタはドットを並べて作られているが、これはテレタイプやドットマトリックスプリンタのテキスト出力に似ている。

IBM やほかのメーカーが準拠しているビデオ規 格には数種類あり、それぞれで大きさの違うドッ ト配列で構成されたキャラクタパターンを持つ。 個々のキャラクタのドットが配列された枠組みは キャラクタボックスと呼ばれるが、これはクロス ワードパズルのようなマトリックスで、幅や高さ はドットを構成している数によって決まる。たと えば、ビデオグラフィックスアレイ(VGA)のテキ スト画面は 9×16 のキャラクタボックスを使用し ており、この場合、キャラクタ1つで横9ドット、 縦16ドット分のスペースを画面上に占めることに なる。別のディスプレイシステムになるとキャラ クタボックスの大きさも違ってくる。モノクロー ムディスプレイアダプタ (MDA) のキャラクタボッ クスは 9×14 ドットで、カラーグラフィックスア ダプタ(CGA)のキャラクタボックスは8×8ドッ ト、また、拡張グラフィックスアダプタ (EGA) の キャラクタボックスは8×14ドットとなっている。 個々のキャラクタのパターンは、キャラクタボッ クス内をいっぱいに使う必要はない。たとえば、 IBM のモノクロームディスプレイのテキストキャ ラクタは、行間が離れて見えるようにするために、 キャラクタボックスの上下1列のドットは使用し

ビデオアトリビュート

ていない。

IBM 標準規格のキャラクタマップディスプレイでは、隣合っている文字をメモリ上で連続して保持していない。画面上のキャラクタの位置は、メモリ上では1つおきのバイトに対応しており、間にあるバイトはアトリビュート(属性)バイトに割り当てられている。偶数のバイトがキャラクタの情報を保存し、奇数のバイトがアトリビュートを保持しているわけだ。

アトリビュートバイトは、直前のメモリに記憶されているキャラクタの強調や色を定義している。 モノクロとカラーのアトリビュートは、それぞれ 異なるコードで表わされる。モノクロのキャラク タには、ノーマル、強調(ほかのキャラクタより明るく表示する)、アンダーライン、反転(明暗を反対にする)のアトリビュートがあり、異なるアトリビュートを組み合わせて使うこともできる。ただ

し、強調反転はキャラクタを強調せずに背景を強調することになることに注意すること。モノクロディスプレイのアトリビュートを図 12-1 に示す。

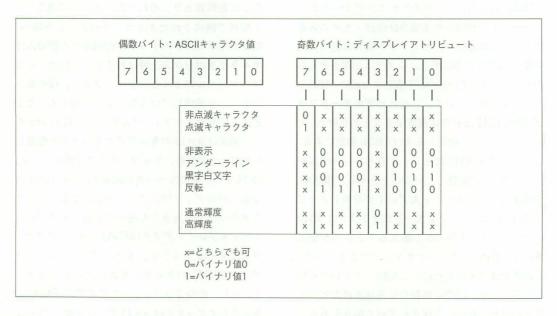


図 12-1 モノクロームテキストディスプレイのアトリビュート

カラーシステムのアトリビュートバイトには、キャラクタの色情報が2種類保存されている。そのバイトの最初の半分(デジタルコードの最上位から4ビット)には、キャラクタそのものの色がコード化されており、後の半分には(最下位から4ビット)は背景の色がコード化されている。カラーディスプレイのアトリビュートを図12-2に示す。

画面上のキャラクタにはそれぞれ2バイト必要なため、テキストを80×25のフルサイズ(計2,000文字)で表示するためには4,000バイトの容量が必要となる。IBMの基本となるモノクロビデオシステムでは、キャラクタ情報の保存用に16Kバイトが割り当てられている。また、基本的な(同時に基本的に時代遅れではあるが)カラーシステムには64Kバイトが確保されている。

ビデオページ

余った分のメモリが無駄にされるわけではない。

ビデオページと呼ばれる別々に分かれた画面を使えば、その分に複数の画面のテキストを同時に保存することができる。基本的なビデオシステムもこのビデオページをすばやく切り換えられるように設計されており、画面上の画像をほとんど瞬時に変えることができる。この瞬時の切り換えによって簡単なアニメーションを表示することも可能だ。

基本的な IBM カラーシステムは、40 列でテキストを表示する特別なモードも持っている。これは、コンピュータ用モニタではなく、テレビをディスプレイに使用する場合を想定したものだ。テレビはコンピュータ用モニタほど鮮明度が高くなく、テレビに80 列という細かさでキャラクタを表示すると、文字がにじんでつながって見えてしまうのである。列が半分になると保持する量も半分ですみ、ビデオテキストのページは2 倍持つことができる。

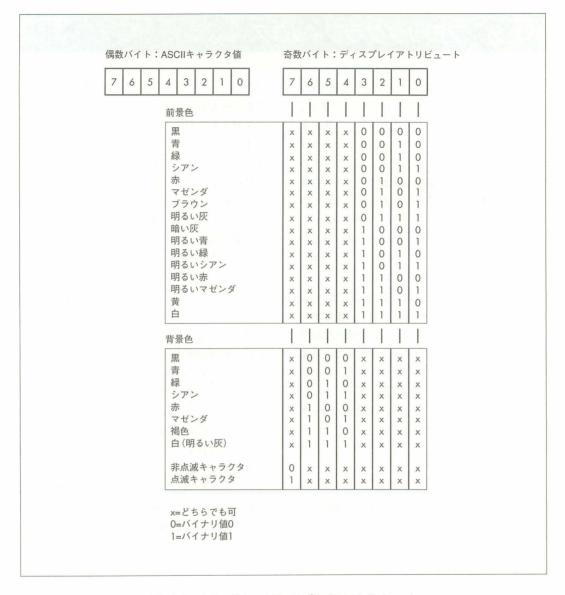


図 12-2 カラーテキストディスプレイのアトリビュート

ここ数年の間に、IBM はディスプレイシステム の質を向上させ、ビデオのためのメモリも増やしてきた。メモリが増えたおかげで、キャラクタベースのディスプレイでは新しいビデオモードによって、テキストの列(最高43列)やビデオページの

数を増やすことができた。サードパーティーのビデオシステムには、1画面で最高60行、132列の表示を可能にするような独自のテキストモードを加えているものもある。

12.2 ブロックグラフィックス

キャラクタマップのテキストモードを使うと、 実に簡単にグラフィックスが表示できる。これは、 1バイトで 256 種類のキャラクタをコード化する ことができるのに対し、アルファベットとそのほ かの記号を合わせても、表示できるキャラクタの 種類が十分余るため、IBM が上位のバイトに特殊 な文字を割り当てているからである*1。それらの 特殊なキャラクタの多くは、キャラクタマトリッ クスを完全に塗り潰したり、部分的に塗り潰した 様々なパターンで、グラフィックイメージをブロッ クから構成できるようになっている。

グラフィックスイメージは、画面上にこういったキャラクタブロックを配置して描く。追加されたキャラクタには、テキストエリアの周囲に境界線を引くことができる鈎型や十字型、また一重線や二重線などがある。グラフィックスイメージはキャラクタのブロックで構成されるため、こうして作られたグラフィックスをブロックグラフィックスという。表 12-1 に、IBM 標準のコンピュータシステムで使用されているブロックグラフィックキャラクタを示す。

IBM のディスプレイシステムは、ブロックグラフィックスをテキストとみなしており、普通のテキストキャラクタとまったく同様に扱っている。テキストのアトリビュートと同じものがどのブロッ

クグラフィックスのキャラクタにもあり、テキストで表示可能な色、強調、反転といったアトリビュートを与えることができる。

また、ブロックグラフィックスの表示データはテ キストモードとして扱われるため、ビデオメモリ に格納することができる。つまり、ほかのテキス トと同様に画面表示を高速に行えるのだ。ブロッ クグラフィックスは、事実上パーソナルコンピュー タで最も高速のグラフィックスであるといえよう。 一方、ブロックグラフィックスの画像の質はパー ソナルコンピュータで使用されるグラフィックス ディスプレイシステムの中では最低だ。ブロック グラフィックスが描く画像はギザギザのこぶだら けで、文字どおりブロックの集合のようである。 複雑な形や細部の細かいものを大きなキャラクタ ブロックで描くのは不可能である。ブロックグラ フィックスの画像は精巧なものではなく、多くのア プリケーションにとって美的な魅力に欠けている。 しかし、ブロックグラフィックスは、カラー、モ ノクロを問わず、どの IBM マシンおよび互換機 でも使用できる唯一のグラフィックスなのである。 ブロックグラフィックスは最低限のグラフィックス 標準であり、同時に IBM のディスプレイシステ ムの中では最も使われていない標準でもある。

^{*1} 訳注:日本語モードの DOS (DOS/V) では、このコード領域には、カタカナなどの日本語固有の文字が割り当てられている。CHCP コマンド (旧 IBM 日本語 DOS) や、CHEV コマンド (DOS/V など) で英語モードに切り替えると、グラフィック用のキャラクタに切り換わる。

表 12-1 IBM のブロックグラフィックキャラクタ

ASCII	キャラクタ	ASCII キャラクタ
169	-	170
176		177
178		179
180	4	181
182	+	183 ₪
184	٦	185
186		187
188	귀	189
190	4	191
192	L	193 ⊥
194	Т	195
196	=	197 +
198	F	199
200	L	201
202	<u>JL</u>	203
204	F	205 =
206	1	207 ≟
208	Ш	209 〒
210	Т	211
212	F	213 F
214	Г	215 #
216	+	217
218	Γ	219
220	-	221
222	1	223

12.3 ビットマップグラフィックス

ブロックグラフィックスの質を向上させるには、 ブロックを小さくすればよい。小さなブロックな ら細く画像を描くことができ、細部もはっきりす る。つまり、ブロックが小さくなればなるほど、画 像の質はよくなるのである。しかし、ブロックの 最小の大きさはディスプレイシステムによって物 理的に限定されている。画面上の画像を構成して いる最小単位はドットである。ディスプレイシス テムで鮮明で質の高い画像を生み出すには、やは り画面上のドットのひとつひとつを個別に制御す るしかない。

このドットは、よりリアルな画像を描くことができる 『原子』のような最も小さなブロックであり、しばしばピクセルと呼ばれる (picture element = 画素を短縮したもの)。 『ドット』と 『ピクセル』は同義語として使われる場合もあるが、厳密な定義は少し違う。システムがその性能の限界で動作しているときに、物理的に扱える限りの数のドットを画面に表示した場合、ドットとピクセルの数は等しい。しかし、多くの場合、1つのピクセルは画面上では複数のドットで構成されるため、システムはその性能の限界よりもやや劣る鮮明度で表示している。

画面に表示する情報を最も簡単に扱うには、各 ピクセルにメモリを割り当てればよい。キャラク タマップディスプレイの各キャラクタに、2 バイ トずつが与えられているのと同じである。

IBMのシステムでは1ピクセルに相当するデータが、1ビット以上のメモリに格納されることから、このようなディスプレイシステムをビットマップグラフィックスと呼んでいる。また、画面上の各ピクセルまたは各位置には、メモリの別々のアドレスが割り当てられるため、このビデオディスプレイの制御方式をオールポイントアドレッサブルグラフィックスディスプレイ(APA)と呼んでいる。

ビットマップグラフィックスシステムでは、画面 上の画像を電気的に変えてディスプレイメモリに 保存する。これは実際に目に映る画像のタイムス ライスである。パーソナルコンピュータ上で走っているソフトウェアは、画面の画像を更新するために、つねに新しいデータをディスプレイメモリに送っている。ディスプレイメモリは変更したフレームを一時的に保持するもので、ここに保持されているデータは、完全な画像フレームとして1秒に何十回も読み出されている。このようにディスプレイメモリはフレームバッファとしての役割も果たしているのだ。

ビットマップグラフィックスはブロックグラフィックスよりもシャープな画像を作ることができる。 ピクセルの数が多くなれば画像は細密になる。画面上のドット数やピクセルの最大数は、同じ画面に表示されるキャラクタの数の実に 64 倍から 126 倍にもなる。

しかし、ビットマップグラフィックスにもメモリのやりくりという難点がある。画面の各ドットに1バイトないし2バイトを割り当てていくと、メモリは膨大な大きさになってしまう。IBMの最も質の低いグラフィックスディスプレイでさえ、各ドットに1バイトずつ割り当てていくと128Kバイトのメモリが必要になる。現在の標準から見れば、128Kバイトのグラフィックスメモリでも十分とはいえないが、IBMが最初にPCにグラフィックスを装備したときは、システムの方に余裕を持たせるため、グラフィックス情報用のRAMは16Kバイトしかなかった。

幸いにも、単純なディスプレイなら1ドットに 1 バイト使う必要はない。ピクセル1 つだけでは パターンは作れないため、ピクセルに必要なコードは、表示をする、輝度を高くする、見えないほど暗くする、これだけである。最も単純なものに なると、ピクセルのコードには、表示するかしないかの1 ビットしか必要ない。これならば、ビデオディスプレイ上に描かれる画像をマップするのに、メモリの各ビットを当てることができる。これからわかるように、16K バイトという数字は、横 640 ドット、縦 200 ドット (IBM ディスプレイ

の最低レベル)という画面上の各ドットをコントロールするための、必要最小限のメモリ容量なのである。現在の640×480ピクセルという解像度の標準ディスプレイでは、フル画面表示に38,400バイトが必要になるが、最小単位である64Kビットのメモリチップのバンクを利用して、64Kバイト分の画面メモリのブロックを確保すれば十分である。

解像度

画像がどれだけ鮮明であるかということを示す数字を解像度 (resolution) という。解像度は、画面がどれだけ数のピクセルに解像されるかを表わしたものだ。画像データ自体は電気的なものであり、その質はそれが表示される画面とはまったく無関係のものであるため、物理的な測定値から解像度を算出することはできない。画像のピクセル数は、それを表示する画面の大きさによって変わるものではない。解像度は1インチ当たりのドット数ではなく、ピクセル数で表される。たとえば、標準的な VGA ディスプレイのネイティブグラフィックスモードの解像度は横640 ピクセル、縦480 ピクセルである (VGA システムの特性により、テキストとグラフィックスの解像度は違う。VGA のテキストモードの解像度は 720×400 ピクセル)。

グラフィックスのアトリビュート

このシステムに欠けているのは、コントラストと色の表現である。どのビットもすべて同じように扱われるため、それに対応するピクセルも同じようにオンオフでしか認識されない。そのため、変化も陰影もない単色画しか描けず、本質的には線画の画像と同じようなものしかできない。これで十分な場合もあるが(たとえば紙にインクで描いたように表示される図表やグラフなど)、やはり色とコントラストが加わわったほうが画像にインパクトが出る。

ビットマップイメージに色を加える方法は、キャラクタベースのディスプレイに色を加える場合とほとんど変わらない。つまりアトリビュートを与え、その各ビットのアトリビュート情報を保持するためにメモリを増やせばいいのである。しかし、

ビットマップシステムは、キャラクタベースモードとは若干違った仕組みを持っている。1 ビット用に割り当てられたメモリはすべて、そのビットを表わすために使用されるのである。各画素は基本的には何の特徴もないただのドットであり、キャラクタやパターンを識別する際に必要だった"1 バイト"という単位は、各画素には必要ない。

1ピクセルに1ビットを割り当てることにより、ピクセルのオンオフ、または黒か白というアトリビュートが保持され、2値のデジタルシステムのような2色システムのグラフィックスが実現されるのである。

カラープレーン

ピクセルにもう1つドットを加えれば、表示可能な色数は2倍になる(コンピュータグラフィックスでいう "色"には、濃淡や明暗のグラデーションも含まれる)。同様に、それぞれのピクセルに割り当てられるビットが1つ増えるごとに、可能な色数も2倍になる。つまり、nビットの場合は27色となるのである。

コンピュータグラフィックスでは、色の情報をコード化するために割り当てられたビットの数を、カラープレーンの数で表わすことがある。カラープレーンという用語はディスプレイメモリの構成に関係がある。グラフィックスイメージのメモリマップは、世界地図のメルカトル図法を思い浮かべるとわかりやすい。緯線と経線は様々な場所に散らばるビットのようなもので、画像ではそれはピクセルに当たる。そして、ピクセルに割り当てられた追加ビットは、3つ目の次元を構成する。つまり、地図の上に層を重ねていくようなものであり、この一連のフラットプレーンの中には、色の情報が保存されているわけだ。

カラープレーンはメモリバンクと似てはいるが、まったく同じではない。たとえば、IBMの標準では、ビデオ用に予約されている限られたアドレス領域に、より多くのメモリをマップするために、"バンク切り替え"の技術を使って、ホストマイクロプロセッサのアドレス範囲内でビデオメモリをアクセスする IBM ビデオアダプタもある。ビデオモードの中には、これらのバンクが、ビデオア

ダプタが使用するカラープレーンに正確に対応しているものもある。また画面メモリの各データのビットを使ってビデオ情報のプレーンをバンクに保存し、個々の色を表示するモードもある。

色もしくはカラープレーンが多ければ多いほど、ピクセルのコード用にさらにメモリ容量が必要になる。画像で多くの色を使うと、目に見える画像の質は向上し、さらにリアルなものになる。美しい画像を望むなら、できるだけ各ピクセルのドットに対する情報を多くしたほうがいい。しかし、あまり多くビデオメモリを確保しても仕方がない。所詮、人間の目は、色を識別する能力が限られているし、それよりもさらに、カラーモニタが表示できる色数が限られているのだ。したがって、必要十分なだけのメモリさえピクセルに割り当てられていれば、それ以上改良しても、見た目が飛躍的に良くなるということはない。

実際の色の限度は色の深度が24で、この場合システムが保存でき、また理論的に表示できる色数は16,777,216色になる。この深度のディスプレイシステムを24ビットカラーまたはトゥルーカラー(true color)システムという。

各ピクセルごとに、加法混色の3原色(赤、緑、青)に1バイトずつ割り当てられている点で、トゥルーカラーシステムは都合がいい。トゥルーカラーはかなりリアルな画像を作ることができるが、解像度が高いシステムでは、むしろ処理に厳しいオーバーヘッドを強いてしまうのが難点である。

トゥルーカラーはメモリの無駄使いであり、今のプロセッサの能力では、可能な色をすべて表示することさえできないという見方もある。モニタのほとんどは、18 ビットディスプレイシステムに相当する 26 万 2144 色を表示するのがせいぜいである。ビデオディスプレイを一般的な用途の範囲内で使うのなら、256 色もしくは 32,768 色で十分なことが多い。現在使われているディスプレイの標準は、このどちらの色数(およびその中間の色数)もカバーしている。

カラーグラフィックス画面を表示するのに、どれくらいメモリが必要になるかを計算するのは簡単である。画面のピクセル数(つまり解像度)とそのピクセルの深度を掛け、ビットをバイトの単位

に変換するために、それを 8 で割ればよい。たとえば、VGA グラフィックスでは、画面のピクセル数は 307,200 であるから(これは単純に 640 と 480 を掛けた値)、それに色深度 4 (16 色表示が可能)を掛けると、必要最小限のメモリは 1,228,800 ビットになる。それを 8 で割ると 153,600 バイトになる。この容量が確保できるような増設メモリの最小単位は 256K バイトであるから、VGA の 16 色画像を保存するためには少なくとも 256K バイトの RAM があればよいということになる。

ダイレクトマッピング

画面メモリに記憶されている値が、画面上に表 示される色を直接表わしている場合(前述の例の ように)、「この色はダイレクトマッピングされて いる」という。ダイレクトマッピングによって、ピ クセルにどのような色でも付けることができるが、 実際に画像で使われる色はずっと少ない。 VGA の 画面上には、307,200ピクセルしかないので、す べての色を一度に表示することはできないからで ある。しかし、表示できる色数が限られていても (画面が必要な容量を制限してしまう)、うまく色 を取捨選択して表示する色に配慮すれば、驚くほ どリアルな画像を表示することができる。当然こ の場合に問題になるのは、1つの画像に対して最 適な色の選択が、ほかの画像にも通用するとは限 らないということである。たとえば、雪嵐の中に ホッキョクグマがいる図はほとんど白ばかりだし、 星明かりの届かない夜にほら穴にツキノワグマが いる図は真っ黒に近い。また、過去のある種の名 作映画のスチール写真なら、赤系の色が必要にな るだろう。

保存されている色は、色参照テーブル (CLUT = Color Look-Up Table) を使って実際の画像に展開される。CLUT は、"スペクトルマップ"の役割を果たしているわけだ。保存できる容量に限りがあるため、色の選択肢の全範囲 (パレット) の中から、どの色がピクセルに当てられるのかを示す目印、ポインタが必要である。ポインタの数によって同時に画面に表示できる色数が決まる。パレットの色数はポインタのサイズによって制限される。画面上の各ピクセルには、どのポインタを使用す

るのかを示すための容量しか必要ない。たとえば、各ピクセルに1バイトを割り当てている VGA システムは、同時に256 色を表示可能にする256 のポインタでCLUTにアクセスできるわけだ。各ポインタには18 ビットの容量があれば、262,144 色のパレットにアクセスできることになる。

CLUT は、メモリ容量と処理速度の両方を補うものであるが、技術の進歩と共にその有用性もなくなりつつある。高性能で容量の大きいメモリとマイクロプロセッサが安価なものになれば、CLUTが使用されることはまれになっていくだろう。少なくとも次の新しいディスプレイ標準では必要なくなるかもしれない。しかし、現在の VGA の発展ぶりを見る限りでは、CULT はしばらくは必要なようである。

ラスタグラフィックスとベクトルグラフィックス

ビデオディスプレイシステムでは、画面は線の 並びで構成されており、1秒間に何十回も連続し て走査されている。これを**ラスタディスプレイ**と いう。このディスプレイは効率が良いため、PCやPS/2、また現在のテレビやビデオシステムに広く採用されてきたが、これがコンピュータの画像をモニタに表示する唯一の方法というわけではない。

それと対極に位置するのがベクトルグラフィッ クスである。このグラフィックスでは定期的な走査 は行われず、代わりに水平および垂直の偏向ヨー クを操作する回路を正確に制御している。ベクト ルグラフィックスは走査線をたどるのではなく、絵 筆を動かすのと同じような方法で図を描いていく のだ。画面を明るくするには、つねに図をなぞり 続けなければならない。この描画法がベクトルグ ラフィックスと呼ばれるのは、モニタを制御する信 号がベクトルの連続として CRT 内の電子ビーム を動かすからである。また、この種のディスプレ イシステムは、ストローカーとも呼ばれるが、こ れは描画がストローク(筆づかい)に似ているから である。あまりパーソナルコンピュータでは聞か れない呼び名であるが、高価なワークステーショ ンではときおり使われている。

12.4 ビデオコントローラ

画像を画面メモリにロードするのは、マイクロプロセッサあるいは専用ビデオ回路(それ自身がマイクロプロセッサを備えている場合もある)である。単純なディスプレイシステムでは、ソフトウェアが特定のメモリにデータを移すように直接命令するか、あるいはプログラムがBIOSを呼び出して細部の処理をまかせ、マイクロプロセッサに画面メモリの特定のロケーションに値をロードするように命令するかの、どちらかの方法を使って、マイクロプロセッサがすべての処理を行う。複雑なディスプレイシステムになると、マイクロプロセッサはコードをビデオプロセッサに送ってデータを直接画面メモリに移動させるか、画像を生成してしてからメモリに移動させるかのいずれかの方法をとる。ただしどちらの場合も、画像データ

が最終的に行き着くのは、パーソナルコンピュータの画面メモリであることには変わりはない。

メモリからデータを取り出してモニタに送る段階になると、処理ははるかに複雑になってくる。画像は画面メモリ内では比較的静的な状態にあるのだが、モニタに送られると、ブラウン管内で高速で動作している電子ビームを制御する信号に変わらなければならない。この変換は考えるほど単純にはいかない。メモリマップと画面上の画像は似ているといっても同じではない。ビデオ情報のデータは、8個以上のメモリチップ内に散らばっているため、それらをまとめてモニタへ送らなければならず、さらにモニタ自身がコンピュータの制御下に置かれる必要がある。

それを行うのがビデオコントローラである。一

般的には特殊な VLSI チップで、メモリのデータをビデオに移すという仕事のためだけに特別に設計されている。IBM はこれまで多くのビデオコントローラを採用しており、互換機メーカーは自社の設計でそれを複製している。

IBM の最初のカラーおよびモノクロアダプタは、市販のチップ「6845」に準拠しており、これを使ってディスプレイを制御していたが、その後は、自社で設計、製造したチップに切り替えている。

ブラウン管を使っているデスクトップマシン用のビデオコントローラの基本的な役割は、ディスプレイメモリのデータをシリアルデータにすることである。ブラウン管が CRT (Cathode Ray Tubes)と呼ばれるのは、陰極 (電子エミッタ)から、画面に向かって電子ビームを放射して蛍光体を発光させる技術を使用しているからである。この CRTに画像を表示させるために、メモリマップに 2次元形式 (水平と垂直)で配置されている情報は、1次元の長い直列のパルスに変換されなければならない。

変換の作業は単純ではあるが、精密に行われなければならない。メモリマップのアドレスは、1 回に1列ずつ順々に読み出されるが、1次元のビデオ情報がモニタに間違って認識されないようにするために、ビデオコントローラは、ホストと同期したデータストリームと、コントロール信号をミックスしなければならない。

ディスプレイシステムが CRT ベースではない場合 (たとえば大抵のラップトップパソコンで採用されている、フラットパネル LCD など)、表示されるデータがシリアル化されているとは限らないが、いずれにしてもデータはディスプレイが扱えるフォーマットで処理されなければならない。フラットパネルディスプレイは、ディスプレイメモリとまったく同じ 2 次元のアドレスが割り当てられているが、データが狭い電気的なパスを通らなければならない場合もある。その場合、ビデオコントローラ回路は、画面メモリのデータを、転送できるような形に変え、それがディスプレイパネルに着いた時点で元に戻さなければならない。

リトレース

CRT をベースにしたシステムには特別な信号が 必要である。画像を目に見えるような形にするに は、CRTの電子ビームが画面の表面上のほぼ水平 のラインをトレースしなければならない。そして 1本のラインをトレースし終わったら、そぐに最 初の位置に戻り、今度はトレースし終わったライ ンのすぐ下のラインをトレースする。このすばや く戻る動きを水平リトレースという。すばやいが 瞬時になされるわけではないのは、電気回路特有 の慣性があるからである。そのため、データのス ムーズな流れも、ディスプレイラインの端にきた ときには短い間だけ中断させなければならない。 そうしないと、ビデオ情報はリトレースしている 間に失われてしまう。ビデオコントローラは、画 像がシリアルデータになっているということを考 慮してリトレースを行なう必要がある。

また、電子ビームが画面の底にきたときには、別の種類のリトレースを行う必要がある。垂直リトレースである。電子ビームはできる限りすばやく元の位置に戻ろうとするので、ビデオコントローラはリトレース中はデータの流れを一時的に止めなければならない。

ブランキング

リトレースの最中、電子銃から電子ビームが放射されたままになっていると、次のライン(あるいはフレーム)の最初の位置に戻るときに、明るい線を描きながら画面を斜めに渡ってしまう。この不必要な斜線が表示されないようにするため、リトレースの間だけでなく、画面の両サイドでの短いインターバルの間も、ビームが安定するまでの期間中は、ビームをオフにしなければならない。どのようなレベルのプログラミングでも、ビームをオンにできないこのインターバルを、ブランキングという。この間、電子ビームは空白以外は何も画面に描くことができない。

コンピュータのモニタは、画面上を完全にデータで埋め尽くすということはしない。画面の縁に暗い部分を残すように画像を中央に集め(あるいはそのように努めて)、画面の端のほうに起こりやすいゆがみを最小限に抑えているのだ。この画面の

暗い保護エリアを作るため、電子ビームは、各画像ラインのデータが表示される前後のわずかな間、黒い画像を表示するレベルに保たれる。この短いインターバルを、信号のフロントポーチ、バックポーチという。信号を調べてみると分かるのだが、ブランキングの間は信号は降下してブランキング状態になり、続いてブランキングとデータ部の間にポーチを作るために、中間の高さである(ブラックレベルという)まで立ち上がる。ブラックレベル目号は、棚やポーチのようなものと考えたらわかりやすいだろう。

垂直インターバル

垂直リトレース中のブランキング期間を、垂直 インターバルという。垂直インターバルは、実際 には広くて黒い水平の帯である。これはテレビ画 面やコンピュータモニタの画像が縦方向に流れて しまうような、垂直同期調節の調整が必要なとき に、イメージフレームの間に見ることができる。

同期信号

モニタの電子ビームは、磁界の組み合わせによって画面上を走査する。1つの磁界がビームを水平に動かし、別の磁界が垂直に動かすのだ。電子ビームの走査を制御する2組の偏向コイルにモニタの回路から徐々に電圧が加えられていく。このコイルは電磁石で、電圧を上げることによってコイルの磁力は増し、ビームを増やしたり偏向させたりできるのである。ラインの走査が終わると、電子ビームを水平に走査させていた磁界が突然オフになり、ビームは画面の端の最初の位置に戻る。同様に、ビームが画面の底にきたときには、垂直の走査をコントロールしていた磁界がオフになり、電子ビームは画面の上から下まで隙間なく埋まったジグザグのパスを動くことになる。

2種類の走査が根本的に違う点は、1回の垂直 走査の間に水平走査が何百回も行われることであ る。この水平走査が行われる速さを、ディスプレ イシステムの水平周波数といい、垂直走査が行わ れる速さを、垂直周波数またはフレームレートと いう。電子ビームが画面の下まで走査するたびに、 完全な画像フレームが1つできあがることからこ のように呼ばれている。

モニタの走査周波数を作り出す電子部品は、モニタの内部にある。ただし、信号自体はコンピュータから来るデータストリームと同期しなければならない。同期していないと、キャラクタは画面上の正しい位置に表示されず、秩序を保っていた画面の画像は、今日のピサの斜塔やヘリオスの胸像のような姿になってしまうだろう。

モニタを同期させるために、ビデオコントローラは特定の同期信号を送信する。ビデオコントローラは、各ラインがディスプレイに送られる前に水平同期信号を送信し、各フレームが送られる前には垂直同期信号を送信する。

デジタルディスプレイシステムと アナログディスプレイシステム

ディスプレイシステムにおいては、パーソナルコンピュータ本体からモニタヘビデオ情報を送る信号の形式に、2つの種類がある。IBMの古いディスプレイ規格である MDA、CGA、EGA はすべてデジタル信号を使用しており、この信号はしばしば TTL(トランジスタートランジスタロジックの略で、回路の内部で使用される電子部品の一種)と呼ばる。一方、これらよりあとの、VGA などの標準規格のディスプレイは、アナログ信号を使っている。2つの信号の違いは、カラー情報をコード化する方法と、コード化できる色の数である。

デジタル信号は、コンピュータの2進法の思考のように、それぞれ2つの状態のどちらか一方を表わし、情報はいくつかの信号を組み合わせたパターンで送られる。デジタルモニタ信号は、モニタのために特別に作られたパラレルコードを使用する。CGA 規格では、デジタルビデオコードには4つの信号があり、うち3つはそれぞれ3原色に対応しており、各色に割り当てられている電子銃のオンオフを決める。残りの1つは、3つの信号すべての輝度を同時に増加させる信号である。このデジタル信号コードは、4つの信号の名前(red、green、blue、intensity)の頭文字をとって RGBIと呼ばれる。

4 ビットシステムなら 16 種類を表わすことができるので、RGBI 信号は 16 色をコード化すること

ができる。EGAシステムは6ビットのコードと、3原色を表わす信号と、各色に割り当てられた輝度信号を使用しており、6ビットコードによって64種類の色を伝送することができる。MDAシステムは1つのビデオ信号しか使用していないが、この信号には黒、中輝度、高輝度の3つに対応したステートがある。

アナログ信号は、どんな値でもとることができる。したがって、事実上コード化できる色数は、モニタの蛍光体の表示能力と同じく無限である。この信号がアナログと呼ばれるのは、電気の強度が、CRT内部の電子ビームやブラウン管表面の画像の輝度と相似関係にあるからである。アナログ信号は用途が広く、VGA以降から現在までの新しいビデオ規格はすべてこれを採用している。

デジタルーアナログコンバータ

パーソナルコンピュータは、内部的にはデジタル回路のデジタル信号しか使用しない。このデジタルコードを現在のアナログのモニタで使えるようにするためには、アナログ信号に変換する必要があるが、ディスプレイアダプタはデジタルーアナログコンバータという特別な集積回路を利用してこれを行う。これは略して DAC と呼ばれことも多いが、この同じチップが "RAMDAC" という名前で呼ばれることもある。この場合はランダムアクセスメモリーデジタルーアナログコンバータを略したものである。

DACは、変換するデジタルコードのデジタルビットの数によって分類される。たとえば、「8 ビット DAC コンバータ」は、8 ビットデジタルパターンを 256 のアナログレベルにコード化する。カラーシステムでは、3 原色あるいは 3 チャネルにそれぞれ別の DAC が必要で、全部で3つになる。各 DAC のビット数を増やせば、システムが表示可能な色のビットプレーンがそれだけ増えることになる。この数はすなわちパレットの数である。画面に一度に表示できる色の数は、ディスプレイメモリの容量によって決まるが、十分な容量さえあれば、3 つの 8 ビット DAC で 24 ビットのトゥルーカラーシステムを実現することが可能である。

ほとんどのディスプレイシステムで、すべての

DAC は同じように作られている。つまり、どの DAC もビット数が同じである。たとえば VGA システムでは、3 つの 6 ビット DAC があり、262,144 色のパレットを備えた 18 ビットシステムを作り出している。しかし、1 つのチャネルがほかのチャネルとは別格に扱われる場合がある。たとえば XGAシステムの「ダイレクトカラーモード」では、2 つの5 ビットカラーチャネルと1 つの6 ビットチャネルを使用するが、トータルの16 ビットはちょうど2 バイトの容量になり、65,536 色の表示を担当する。特別なビットが緑のチャネルに割り当てられているのは、人間の目はスペクトルの緑の部分の微妙な輝度に最も敏感だからである。

VGA で使われている標準の 18 ビット DAC を超えようと、2、3 のチップメーカーが、DAC の長所をさらに伸ばすような製品の開発に取り組んできた。「カラーエッジグラフィック (CEG)システム」は、Edsun Laboratories (現在は Analog De vices の一部門になっている) が開発したもので、必要な容量を変えずに VGA のようなシステムの表示可能な色数を増やすことに成功した。Sierra Semiconductor の「HiColor RAMDAC」は、ディスプレイアダプタの同時表示可能な色数を、256 色から 32,768 色もしくは 65,536 色に増やしている。

CEG チップは、VGA のカラーコードを使用する。上位 32 のカラーコードは、色そのものではなく、隣接するピクセルによる色の合成用に予約されている。これによって、きわめてスムーズな色のグラデーションが可能になっている。鮮明度のロスを最小限に抑えながら色の混ぜ合わせが徐々に行われるのである。可能な色の組み合わせは 100 万通り以上になる。しかし Edsun の CEG システムでは、チップの色合成用の特別コードをプログラムが把握している必要があるため、これがマイナス要素となって、CEG システムを利用しているアプリケーションはほとんどないという結果になっている。

HiColor チップは、画像用のメモリ容量に、より多くのビットを割り当てる簡単な方法を採用している。VGA が最大8ビットであるのに対し、HiColor チップは最大16ビットまでのコードを記憶することができる。最初の HiColor チップと

改良された最近の製品 (「SC11481」、「SC11486」、「SC11488」) は、各原色に 5 ビットずつが割り当てられた TruVision の「TARGA ボード」の標準規格に準拠している。ほかの HiColor チップ (「SC11485」、「SC11487」、「SC11489」) は、IBMの XGA の 16 ビットシステムで使うことができる。

これらの製品は、放っておいても自動的にプログラムやファイルを利用して新たな色を作り出してくれるわけではない。これらの製品の恩恵を受けるためには、アプリケーションが特別にサポートしなければならないのである。

12.5 バスの接続

パーソナルコンピュータのビデオシステムは、ほかの回路と接続する必要がある。そして、ほとんどのディスプレイシステムでは、その接続は密接なものだ。マイクロプロセッサはこの接続に介入して、データを直接画面メモリに書き込まなければならない。これは、画面メモリは、マイクロプロセッサのアドレスの範囲内になければならないということを意味する。高性能ビデオシステム(通常、ビデオシステム自身がプロセッサを持つものをいう)は、メインのマイクロプロセッサの範囲外にメモリを置くため、MDA、VGA、XGAといった標準ディスプレイシステムの信号を表示することはできない。

画面メモリとマイクロプロセッサの論理的な接続は、I/Oバス(本質的にはパーソナルコンピュータの拡張バスと同じ)またはローカルバスの2種類の電気接続によって行われる。後者を使うと直接マイクロプロセッサと接続できる。この2種類の接続の機能上の違いは速度である。現在のパーソナルコンピュータでは、マイクロプロセッサのローカルバスはI/Oバスの数倍の高速で動作する。表面的にはこの強みでローカルバスの接続のほうが有効であるように見えるが、実際のアプリケーションになると、ローカルバスはいくぶん速いという程度で、理論上可能なスピードを実現するには至っていない。

1/0バス

I/Oバスの歴史は古い。初期のパーソナルコンピュータは、普通の拡張スロットに搭載された拡

張ボード上にビデオ回路を置いていたが、それは 現実的な制約という理由からであった。つまり、 必要な回路がマザーボードに載りきらなかったた めに、スロットに置かざるを得なかったのである。 しかし、スロットにメモリを装着したことで、ビ デオ設計者やユーザーにとっては、選択の幅が広 がる結果となった。ビデオアダプタは1種類の設 計でどの機種にも適合したため、メーカーにとっ ては市場が大きくなり、そしてユーザーは数多く の製品の中から選べるようになった。ディスプレ イシステムのアップグレードも、古いボードを取 り出して新しいものを差し込むだけで、簡単に行 うことができた。

16 ビットの ISA 拡張バスを搭載した AT マシンが登場すると、幅の広いバスの利点が明かになってきた。16 ビットインターフェイスを備えたディスプレイアダプタボードは、8 ビットコネクタの付いたボードよりも実質上速くなったのである。バス幅が2倍になった16 ビットアダプタは、ディスプレイのデータを高速で扱うことができ、予想どおり性能を2倍にすることに成功した。

1987年頃、パーソナルコンピュータメーカー各社 (最大手の Compaq と IBM も含む) は、ビデオ 回路をプラグで拡張スロットに接続する方法を見 直し始めた。集積化がますます進んでできたマザーボードのスペースの余裕を、ディスプレイ回路に 利用できないかと考えたのである。また、標準がいくつも乱立して、真のビデオ標準規格の地位を 争っていたが、ついに VGA がその役を手に入れた。ビデオがもはや贅沢品ではなく、ほとんどすべ

てのパーソナルコンピュータのビデオシステムに VGA標準が採用されるようになったため、ほかのメーカーはディスプレイアダプタ回路をマザーボード上に移したのである。

ディスプレイアダプタ回路の物理的な位置は変わったが、その論理的接続に何ら変化はなかった。ビデオ回路は相変わらず拡張バス上にあるかのようにパーソナルコンピュータ本体に接続されていたし、マイクロプロセッサは古い規格のアドレスを通してビデオメモリにアクセスしていた。マザーボードベースになって、高速なマイクロプロセッサがすぐ隣にあるというのに、ビデオ回路は依然としてI/Oバスに接続していたのだ。

ビデオ回路がマザーボードに組み込まれるようになってからも、システム設計者にとってI/Oバス接続は重要な利点を持っている。一般的にみると、今のビデオ制御回路は可能な速度に限界がある。ビデオチップの多くが、今日の高速なマイクロプロセッサのスピードでは動作できないのである。その際、I/Oバスは、マザーボード上のバス制御回路によって、ビデオコントローラが許容できる程度にまで速度を下げられる。また、ビデオ回路は、システムアドレスの中に置いてアクセスする必要もあるが、I/Oバスには必要なアドレス信号があるので、マザーボードにビデオを移植するにあたって、特別に何かを追加する必要はない。

I/Oバスへの接続では、マザーボードのビデオ回路は拡張スロットに搭載されているようにみなされる。マザーボードビデオシステム (IBM PS/2の初期モデルなど)は、拡張バスのビデオボードの性能を維持するために、マザーボードの8ビットI/Oバス接続を使用しなければならず、そのため速度が遅くなってしまうものもある。実際、I/Oバスを介して接続されたマザーボードビデオの利点は、低コストであることと、ディスプレイアダプタを分ける必要がないことから拡張スロットを1つ節約できるという点だけである。

1981~1991年という長い間、I/Oバスの接続はビデオにとって何ら不足のないものであった。それは古いアプリケーションには、ビデオのスピードは必要とされなかったからである。たとえば、初期のパーソナルコンピュータでビデオが問題に

ならなかったのは、アプリケーションのほとんどがキャラクタマップを使っていたからだ。フル画面の情報でも、1キャラクタあたり2バイト(1バイトはASCII コードに変換され、もう1バイトは色や強調などのアトリビュートを保持していた)を使う、 80×25 列のキャラクタの集まりにすぎなかったのである。この場合、フル画面のテキストデータでも4K バイトにしかならず、転送にもたいして時間がかからなかった。初期のPC バスでさえ、バス幅1バイト、速度4.77MHz2という条件の下で、1/500 秒もかからなかったはずだ。

近年、グラフィックスアプリケーションの重要 性が増すに従って、ビデオ転送の必要性も劇的に 高まってきた。現在の最大公約数的な規格である VGA の 16 色グラフィックスの画面は、163,200 バ イト分のデータを表示できる。解像度 1024×768 のトゥルーカラー(24ビット)表示になると、画 面1枚分のデータは約2.3M バイトにまで増える。 システムにそれ以上のオーバーヘッドがないとし ても、PCバスを経由してそのデータを転送しよ うとしたらまるまる1秒かかってしまうだろう。 実際、このような転送は、マイクロプロセッサを 介するよりもはるかに時間がかかる。メモリリフ レッシュや巧みなバックグランド処理(タイマ割り 込みのサービスなど)、画面へ送る画像データの 計算などに時間をとらなければならないからであ る。この例でI/Oバスの接続を使うと、1画面を 更新するのに何秒もかかってしまうのは明らかで あり、とても許容できる範囲とはいえない。

ローカルバス

ローカルバスビデオシステムは、マイクロプロセッサとのもっと直接的な接続を利用するもので、マイクロプロセッサの近くにありマイクロプロセッサの速度で動作するアドレス回路を使用する。こういった信号は、それにアクセスするように特別に設計された新しいチップセットのおかげで利用できるようになった。ビデオ回路自体は、より高速なスピードに追いつくようにより早く応答するか、あるいは、定格以上に速くならないようにウェイトステートをはさまなければならない。ビデオ回路を接続するローカルバス自身はマザーボード

上に乗ることができるし、あるいは、「VLバス」のような別の拡張バスに拡張することもできる。 従来のI/Oバスのビデオ接続と同様に、ローカルバスビデオ回路の物理的な位置が、動作や速度 に影響を与えることはない。

ローカルバスビデオは、マイクロプロセッサとの接続に特別なインターフェイスが必要なため、ほかのディスプレイシステムをアップグレードするときのように、今あるマシンに付け加えるということはできない。ローカルバスを使えるようにするにはコストがかさむため、ローカルバスが組み込まれた新しいマシンを買うか、ローカルバスが組み込まれたマザーボードを買って、今あるマシンをアップグレードしたほうがよい。

"ローカルバス"という言葉自体は、技術を表わ しているのであって、搭載方法を表わしているの ではない。ローカルバスのディスプレイシステム を搭載したパーソナルコンピュータが最初に世に 出たときは混乱しており、そこから標準規格は生 まれてこなかったため、パーソナルコンピュータ の設計者たちは、それぞれ独自のローカルバス接 続を作っていた。そして、現在のアプリケーショ ンと互換性を持たせるために、VGAと同じメモ リのアドレスや、VGA用のビデオコントローラの レジスタを使って、VGA の接続を模倣した。パー ソナルコンピュータの設計者たちが、VGA の拡 張ボードと同程度の互換性を維持していたあいだ は、マザーボードのローカルバス接続の細かい部 分は、単なるパーソナルコンピュータユーザーに とっては無関係のものだった。ボードは VGA シ ステムとそっくり同じように動作し、唯一の違い はわずかに速くなることだけだ。

1992年6月、Intel Corporation はローカルバス規格を発表し、それを "Peripheral Component Interconnect (PCI)"と呼んだ。これによってローカルバスのビデオシステムが、Intel のマイクロプロセッサとどう接続されるべきかという基本ルールが確立された。長い間待ち続けられたものであったにもかかわらず、この PCI 規格はこれからパーソナルコンピュータを買おうというユーザーにとって、それほど意義のあるものとはいえなかった。マザーボード上で使われるローカルバス規格は、ユー

ザーから見れば、牛乳のパックがどんな種類の厚紙で作られているのか、といった程度の重要性しかない。ローカルバスが有効に動いて特に危険でも引き起こさない限り、その役目を果たさせるのに何の配慮も必要ない。つまり、普通のVGAシステムをエミュレートしているマザーボードベースのローカルバスが動いている限り、それがPCI規格に従っているかどうかは問題にはならないのだ。しかし、パーソナルコンピュータメーカー側は、PCI規格の恩恵を享受している。PCIは製品を正しく動かしてくれるし、異なるシステム設計のマシン間でも、すぐにローカルバスの技術を移植できるからである。

マザーボードベースのローカルバスシステムには、避けることのできない欠点がある。アップグレードのためのオプションの種類を制限してしまうということである。マザーボードのディスプレイシステムの解像度や色表示能力をさらに高めようとすると、スロットに拡張ボードを差し込むことになり、ローカルバスの利点をあきらめなければならない。ローカルバス接続がない状態より悪くなることはないにしても、ローカルバスから得ていた性能は失われてしまう。

このローカルバスの欠点を克服する確実な方法の1つは、ローカルバスビデオシステムを、マザーボードからプラグ接続式のアダプタへ変えることである。そうすれば、I/Oバスシステムのように、拡張カードを取り替えることで、簡単にローカルバスのビデオシステムをアップグレードすることができる。もちろん、標準のISA、EISA、マイクロチャネルバスのスロットは使えない。こういったスロットには、I/Oバス接続しか与えられていないからである。

認められた規格がない状態では、特殊なローカルバススロットがマザーボードベースのシステムに優る有効性はわずかなものでしかない。スロットはアップグレードを可能にするものだが、スロットが専用のもになると、アップグレードの選択の幅を制限することになる。そのスロットに適合する製品しか接続できないし、そういう製品はそのパーソナルコンピュータを製造したメーカーからしか提供されないからである。

標準規格の設定は、ローカルバスが成功をおさめる上での鍵である。それは製造メーカーと、長年にわたってパーソナルコンピュータに投資してきたユーザーの双方にとっての成功を意味する。スロットとビデオボードが業界公認の標準に従って製造されれば、ユーザーは数多い種類の中から製品を選択することができるし、アップグレード

の可能性も約束される。ローカルバスコネクタの 規格を作ろうという動きは、まず OPTi のローカ ルバスから始まったのだが、ビデオ業界は VESA のローカルバス規格とコネクタ仕様のほうへ移っ てしまった。このバスの詳細な機能は第6章で触 れた。

12.6 グラフィックアクセラレータとコプロセッサ

ローカルバスの強みは、データをパーソナルコンピュータ内のある場所からディスプレイメモリへ高速に転送できることである。しかし、最近のディスプレイ回路は、ビデオデータの大きなブロックを転送する必要性を、いかに少なくするかということに焦点を置いて設計する傾向にある。ディスプレイメモリとダイレクトに結ばれているプロセッサ(バスを介してディスプレイメモリにアクセスするマイクロプロセッサではなく)で画面上の画像の生成と処理を行うことによって、バス上で転送されるビデオデータを少なくすることができる。バスを通過するデータが少なければ、その分バスのオーバーヘッドの影響を受けなくてすむからである。このことは、転送チャネルに I/O バスを使おうと、ローカルバスを使おうと、同じことがいえる。

処理機能をディスプレイメモリに近づけるという発想から、2つの技術が生まれた。その1つである"グラフィックアクセラレータ"は、重要なグラフィックスの定型処理(ライン描画、塗り潰し、Windowsのダイアログボックス作成など)を実行するように特別に設計された VLSI チップを使用している。もう1つの技術である"グラフィックコプロセッサ"は、基本的にグラフィックス処理を専用に行うように設計されたマイクロプロセッサである。本来のマイクロプロセッサと同様に、グラフィックコプロセッサも、たとえばグラフィックアクセラレータの操作を実行するといったことのために、完全にプログラムすることができるが、実

はそれ以上の能力も備えており、プログラマが考えることならほぼ何でもこなすことができる。グラフィックアクセラレータの機能と動作はハードウェアで設定されるが(そのため、グラフィックアクセラレータは固定機能チップと呼ばれることもある)、グラフィックコプロセッサはソフトウェアを変えることで特性を変えることができるのだ。

それとは対照的に、古いディスプレイシステムはそれ自体には処理能力はなく、代わりにホストのマイクロプロセッサのインテリジェンスに頼っている。このような古い回路には、ディスプレイメモリを自身で制御できるような固有のインテリジェンスはなく、ディスプレイメモリは画像の各フレームを溜めておくだけである。これをダムフレームバッファ設計という。

グラフィックアクセラレータとグラフィックコプロセッサは、パーソナルコンピュータのディスプレイシステムにインテリジェンスを与え、マイクロプロセッサの負荷を軽減することでバスの問題を解決した。画面上に画像を描くインストラクションを実行しなければならないマイクロプロセッサに代わって、グラフィックスチップがその仕事を引き受ける。マイクロプロセッサは、画面に表示するデータをすべてI/Oバスまたはローカルバスを通してディスプレイメモリに移さなければならないが、グラフィックスチップは直接ディスプレイメモリと接続されているため、バス転送の必要はない。この場合、I/Oバスを使ってデータを運ばなくても、パーソナルコンピュータのマイク

ロプロセッサはソフトウェアの描画コマンドをグラフィックスチップに送るだけでよく、バスを通過するデータも数千バイトの単位からほんの数バイトにまで減る。そのためバスの負荷は軽くなり、グラフィックスチップをI/Oバスやローカルバスを通してシステムに接続してもしなくても大した違いはない。

このグラフィックスの高速化という恩恵に与れないタイプの画像データもある。保存されているビットイメージである。画面に表示するつもりでハードディスクに保存されたビットイメージ(たとえばスキャナで取り込んだ写真など)のようなディスクベースのデータは、変換されずにダイレクトにディスプレイメモリに転送しなければならないのである。

グラフィックスチップの利点はそれだけではな い。数値演算コプロセッサがパーソナルコンピュー タのすぐれた機能をさらに向上させるように、グ ラフィックスチップも、モニタに画像を描くとい う目的において、システムの性能を上げることが できる。汎用のマイクロプロセッサのインストラ クションセットは、様々なものに対応するよう作 られている。チップメーカーは、自分の作った製 品が設計者にどう使われるのか分からないため、 ほとんど何でもこなせるような能力を備えさせて おくのである。このため同時に、特定の仕事に対 してはその性能を多少犠牲にすることになる。グ ラフィックプロセッサのメーカーは、自社の製品 がグラフィックスに使われることがわかっている ため、グラフィックス機能のためのチップのコマ ンドセットを最適化することができるのである。

グラフィックアクセラレータとコプロセッサが協力しあって、解像度の高いディスプレイシステムの処理にあたることもある。ダムフレームバッファならば、パーソナルコンピュータのマイクロプロセッサが、ディスプレイメモリが使用しているアドレスにアクセスできる限り、どんなレベルの解像度でも処理できるが、高解像データは膨大であり、適当な性能を維持するためには、グラフィックスチップがさらに高速になる必要がある。グラフィックスチップは、ピクセル数が何百何千という大容量のグラフィックス情報もすばやく処理し

て、本体のマイクロプロセッサにじっくり考える 時間を与えるのである。

グラフィックアクセラレータやコプロセッサは、マイクロプロセッサをもう一段階高い性能を持ったものに変えるよりも、高速なビデオ処理を実現することが往々にしてある。たとえば、33MHzの486マシンにグラフィックアクセラレータを搭載すれば、ダムフレームバッファを使う50MHzのマシンが達成しそうなレベルよりも、高速に画面描画を行うことができる。実際の速度は使用するアプリケーションソフトウェアによって決まるが、単にビットイメージを転送するだけのプログラムなら、アクセラレータからもコプロセッサからも思恵を受けることはない。一方、図形を描くアプリケーション(CAD など)は何倍もの速さで疾走できる。

ハイレベルコマンド

グラフィックスチップの秘密の武器は、ハイレベルグラフィックコマンドである。通常のプログラムは、システムのマイクロプロセッサに画像をどう組み立て、どう処理するのかを、独自のコマンドセットを利用して命令する。マイクロプロセッサは、システム資産を使用して実現するように設計された機能しか実行できない。グラフィックスチップを追加したとしても、マイクロプロセッサはこのような通常のインストラクションを実行し続け、仕事の一部を補助チップに任せることはない。

グラフィックスチップに仕事を任せるためには、マイクロプロセッサは、なすべきことを指示する命令を送らなければならない。これがハイレベルグラフィックコマンドである。何もないところからコマンドは生まれない。したがって、コマンドはシステムで動かすソフトウェアの一部として存在しなければならない。マイクロプロセッサは命令を検出してそれをグラフィックスチップに送ると、そこで命令が実行されるのである。

コマンドの範囲は広い。中でも重要なものについて述べる。

■ビットブロック転送

グラフィックスチップに、ディスプレイメモリ内

のある場所から別の場所へデータを動かすよう指示する命令。メモリを介して画面データの各データを動かす代わりに、マイクロプロセッサは、どのブロックを(データの始点)、どこへ動かすのか(終点)をグラフィックスチップに与えるだけでよい。するとグラフィックスチップ自身がデータ転送の処理を完全に実行する。

しばしばこの命令は、略して BitBlt と呼ばれる。 ビットブロック転送は画像をスクロールアップさせるコマンドとして最も一般的に使用されている。 ビデオの性能に及ぼすコマンドの影響は、簡単に見ることができる。グラフィックスチップを使って画面上のビットイメージをスクロールアップさせたときに、画像の上部が新しい位置へ急に移動すると、画面の下部には黒い帯が残り、そこにゆっくりと残りの画像が現れることがしばしばある。最初の画像上部のすばやい移動は、BitBltを使ってディスプレイメモリの中で行われるが、残りの画像は I/O バスあるいはローカルバスを通してディスプレイメモリに送られるために、このような遅れが出てしまうのである。

■描画コマンド

画像の部分の構成の方法、たとえば、ラインや 矩形や弧を描いたり、線で囲まれた形の内部を色 やパターンで塗り潰すといった指示をグラフィッ クスチップに伝える。このコマンドは、しばしば グラフィックスプリミティブとも呼ばれ、1つの 形を表示させるのに、画像をそれぞれがデジタル 方式でコード化されるいくつかの構成部分に分け る。マイクロプロセッサが線を画面に描く場合、 普通はまず線の各ビットが画面上のどこに現れる かを計算して、次に画面上に現れる各ピクセルの 座標を計算し、それから変更内容をバスを通じて ディスプレイメモリに送らなければならない。グ ラフィックスチップがあれば、マイクロプロセッサ は線の始点と終点だけをチップに渡せばよい。グ ラフィックスチップがピクセルを計算して適当な 値をディスプレイメモリに格納するのである。

■スプライト

1つのユニットとして画面上を移動する小さな

イメージ。ちょうど画面上のマウスポインタのようなものである。汎用のマイクロプロセッサにはスプライトを扱う機能はなく、そのためスプライトが画面上を動くたびに、スプライト画像の各ビットの位置を計算しなければならない。一方、グラフィックスチップの多くにはスプライトを扱う機能が組み込まれているので、チップはメモリにスプライトのビットパターンを保存し、画面上のどこにスプライトを置けばよいのか指示する命令を待つだけでいい。スプライトを描き直す必要はなく、グラフィックスチップは画面上の画像に割り当てられた座標を変えるだけでいいのだ。要するに、基本的には場所をマップし直しているだけなのである。

■ウィンドウイング

最近のマルチタスクシステムで最もよく使われる機能の1つ。それぞれのタスクには画面上にエリアが与えられ、そこで動作や表示を行う。各タスクが使用するすべてのウィンドウを整列させることは、汎用のマイクロプロセッサにとっては難題であるのに対し、グラフィックスチップは通常簡単なコマンドを使ってウィンドウを管理できるように設計されている。一度画面上のウィンドウが定義されると、その後はデータを個々に移動させるのではなく1つのブロックとして処理される。ウィンドウの操作はあくまでソフトウェアが行うか、あるいは、ウィンドウ制御を合理化する特殊なハードウェアを備えたグラフィックスチップが行うかのどちらかである。

従来のウィンドウシステムでは、ソフトウェアが各ウィンドウの表示をコントロールしている。 画面の配置が計算され、各ピクセルの正しい値がメモリマップ上の適切な場所に書き込まれる。画像を生成する際には、各メモリロケーションが順に読み出され、画面を走査している電子ビームの輝度を制御するためにその中の情報が使われる。各メモリロケーションは厳密な順序で順に走査される。

■ ハードウェアウィンドウイング

メモリマップを分割することで動作する。画面

上の各ドットには1ビット以上のメモリが割り当てられているが、マップは画面に正確に対応する必要はない。またビデオチップも、ビデオビームが画面をトレースする際に、メモリの位置を決まった順番で走査する必要はないが、その代わりに、ビームを制御するために走査されたメモリに、ポインタを渡さなければならない。このポインタを目印に別々のメモリ領域の間の走査は行われるのである。ポインタを渡された各メモリ領域は画面上のウィンドウに対応している。

各ウィンドウは別々に処理される。ウィンドウが 使用するメモリは、システムのマイクロプロセッ サのアドレス領域にマップされ、画面上の残りの 部分は別に扱われる。このため、ウィンドウを変 えるために通常必要な計算のほとんどは必要なく なり、画面の更新はかなり速くなる。

■ハードウェアパニング

フレームバッファとして使用されていないディ

スプレイメモリ(たとえば、VGA ボードの 256K バイトのうち、フル表示に必要な約160Kバイト を引いた残りの 100K バイト) を利用して、モニタ 画面に表示されるよりも大きな画像を保存する。 モニタの画像は本質的にウィンドウとしてディス プレイメモリに格納される。たとえば、余分なディ スプレイメモリがあれば、640×480ピクセルを拡 張しなくても、中心の 640×480 のマトリックスだ けが表示される 800×600 のマトリックスを格納す ることができるだろう。画面上の画像をある方向 に動かすには、ボードの出力を介して、定められ たエリアのアドレスをディスプレイ回路が変える だけでいい。アドレスを変えるほうが、BitBlt命 令を使ってデータブロックを移動させるよりもずっ と速い。表示された画像が完全な形でメモリに保 存されている限り、すばやくハードウェアパニン グを行うことができる。

12.7 グラフィック操作環境

グラフィックアクセラレータやグラフィックプロセッサを使ってディスプレイの表示速度を上げることに難点があるとすれば、それは特別な高水準コマンドが必要なことである。プログラムに必要なインストラクションがなければ、グラフィックスチップは何も実行できない。その場合はこの高価なハードウェアをみすみす無駄にしてしまうことになる。

したがって、プログラムは、システムのグラフィックハードウェアを利用するように特別に書かなければならない。それ自体は大したことはなさそうにみえるが、何十種類ものグラフィックスチップを使おうとした場合、それぞれに独自のコマンドセットがあるためそう簡単ではなくなる。利用するチップをすべて把握し使いこなすには、プログラムに各チップが使うであろうコマンドを用意しておく必要がある。新しいチップが増えるごとに、

必要なコードも電子の癌のようにプログラム内で 増殖していくだろう。結果としてプログラムが膨 らみすぎて、性能に悪影響を与えることになって しまう。

グラフィックコードを抱えすぎたプログラムの問題を解決するのは、ソフトウェアドライバである。プログラム自体は、ほとんどのグラフィックスチップから利用できるハイレベルグラフィックコマンドの最もよく使われるサブセットになっている。プログラマは機能それぞれに自分専用のコマンドを使い、ソフトウェアドライバと呼ばれる別々のプログラムを作る。ソフトウェアドライバは各プログラマ専用のコマンドを、特定のグラフィックスチップや特定のチップを搭載したボードで使用されるコマンドに変換する。マイクロプロセッサがプログラムのグラフィック命令の1つと遭遇したら、ソフトウェアドライバはマイクロプロセッ

サにグラフィックスチップに送るべき適切なインストラクションを伝え、グラフィックチップはその処理を実行するのである。

この設計はユーザーには便利だが、プログラマには悪夢を思い出させるかもしれない。ただし、プログラマに悪夢を見られるだけの睡眠時間があればの話だが。グラフィックスの問題に対処するためには、たとえそれが簡単なものでも、プログラマはグラフィックハードウェアにも精通していなければならない。ソフトウェアかハードウェアのどちらか一方の分野の専門技術を備えているだけでは十分とはいえないこの世界で、プログラマはその両方の魔法使いにならなければならないのである。

コンピュータ業界は、この問題を2つの方法で 回避してきた。ソフトウェアドライバを書くとい う作業を、ディスプレイアダプタのメーカーに任 せる方法(これは両方の専門技術の必要性を、ソフ トウェアのメーカーからハードウェアのメーカー に単に移しただけ)と、グラフィック操作環境で ある。

後者は、ソフトウェアドライバのようなものをもう一段階進めたものである。つまり、ソフトウェアの層をもう1つ加えるのである。これは、1つのドライバさえあればその環境下でどんなアプリケーションも実行できるような先進的なビデオシステムと、アプリケーションの橋渡しをするソフトウェアブリッジとしての役割を果たす。グラフィック操作環境は、OS/2のようなオペレーティングシステムや、別のオペレーティングシステム下で動く Windows のようなプログラムのどちらにも対応できる。

この環境は、プログラマに提供されるフックと呼ばれるソフトウェアルーチンのセットを利用することで実現できる。プログラマはフックを使ってビデオディスプレイの特定の画像を引き出すことができる。操作環境はフックコマンドを自身の通常の言語に変換する。変換するのはグラフィック環境ドライバソフトウェアで、グラフィックアクセラレータ、コプロセッサ、またほかのビデオ機能が理解できるような形に変換される。つまり、アプリケーションを書く場合、プログラマは操作

環境のフックだけ気にしていればいいのである。 一方、操作環境の設計者は、自身の製品をできる 限り多くの競合している非標準のビデオシステム に合わせるか、あるいはハードウェアメーカー側 にこの作業を行わせる。

アプリケーションインターフェイス

プログラムフックをまとめてアプリケーションインターフェイスという。アプリケーションインターフェイスは、ソフトウェアとハードウェアをうまく適合させる中間の変換ステップである。これは、ディスプレイシステムを制御する(もしくはディスプレイソフトウェアとリンクする)公式な手段で、デバイスメーカーが文書化を行っている。その接続はハードウェアのダイレクト制御から、特殊なドライバと対話する最上層のソフトウェアまで、実に多様なインターフェイスに利用される。

たとえば、現在は生産されていないが、IBM の「8514/A ディスプレイアダプタ」のアプリケーションインターフェイスは、ディスプレイボードにビットブロック転送、ライン描画、塗り潰し、パターン描画、色の合成などを行わせるコマンドのセットで構成されていた。また、このアプリケーションインターフェイスは、欧文ピッチフォントや「IBM 3270 端末」のものをベースにした英数字オペレーション用のテキストコマンドも含まれている。8514/A のアプリケーションインターフェイスに対するコマンドは、BIOS のファンクションコールに似た形式だが、ソフトウェア割り込みではなく CALL コマンドによって呼び出される点が異なる。

アプリケーションインターフェイスは、プログラマにとってインストラクションマニュアルのようなもので、これによって、ディスプレイシステムに組み込まれた様々な機能をどう動かせばよいかを知ることができる。ユーザーがアプリケーションインターフェイスに関わることはなく、ユーザーが気を配らなければならないのは、選択したディスプレイシステムが、ソフトウェアのアプリケーションインターフェイスと互換性があるかどうかということである。XGAディスプレイシステムが必要なプログラムを買う場合は、ハードウェア

が XGA アプリケーションインターフェイスをサポートしているかどうか確かめなければならない。 つまり XGA と互換性があるかどうかということ である。

ときおり、プログラマは公式なアプリケーショ ンインターフェイスを避けて、ディスプレイデバイ スを低いレベルで、つまりよりハードウェアに近 いレベルでコントロールすることがある。たとえ ば、IBM の 8514/A アプリケーションインター フェイスに従った多くのアプリケーションは、シ ステムの性能を向上させるために、ディスプレイ ボードのハードウェアレジスタに直接にコマンド を送る。IBM が XGA ディスプレイシステムを導 入すると、突然アプリケーションインターフェイ スは停滞を余儀なくされた。XGA は8514/Aア プリケーションインターフェイスを完全にサポー トしていたにもかかわらず、まったく違うハード ウェアを採用したためである。当然 8514/A シス テムのダイレクトハードウェア制御を利用してい たプログラムは、XGA ディスプレイボードでは 正しく動作しなかった。IBM の技術者たちのぼや きが聞こえそうだ。「マニュアルにそう書いてあ る」と。

グラフィック開発システム

もし、ユーザーインターフェイスからグラフィック操作環境を取り除いたとしたら、後に残るのはソフトウェアフックのセットであろう。これがアプリケーションをハードウェアにマッチさせているのである。このような製品をグラフィック開発システムといい、アプリケーションの開発者が操作環境で動くプログラムを書くのに役に立つ。操作環境を意識する必要がないという点で実にすぐれた製品である。プログラマは開発システムが提供するソフトウェアツールを利用することで、見栄えの良いコードを書くのが簡単になり、製品の市場を幅広い種類のハードウェアに広げることができる。またアプリケーションユーザーは、システム起動時に適切なドライバをロードしなければならないという手間から解放される。

グラフィックアクセラレータ

実際に、ディスプレイボードに組み込まれているグラフィックアクセラレータの種類は、チップメーカーの数しかないようだ。1992 年中頃、6 種の製品が流通していたが、どれも違うものでまったく互換性はなかった。ATI の「Mach 8」、Chips and Technology の「82C453」、Integrated Information Technology の「UV6000」、Silicon Sub System(S3 として知られる)の「86C911」、Weitekの「W5086」である。いずれもアプリケーションを動かすにはそれぞれ特殊なドライバが必要である。

最新の製品はみな一様に、Microsoft の Win dows の環境下でビデオの画像更新速度を向上させるという同じゴールを目指している。そのためハイレベルコマンドはどれも似通っている。たとえば、S3 の 86C911 は、IBM の XGA システムのコマンドレパートリーのサブセットを持つような設計になっており、Windows のニーズに合わないようなハイレベルコマンドは使わない。

グラフィックアクセラレータがあるからといって、それだけですべてのアプリケーションの性能が向上すると約束されたわけではない。ソフトウェアは、グラフィックアクセラレータのアプリケーションインターフェイスに対応するようには作られておらず、アクセラレータを利用することはできない。その反対が問題になることもある。Windowsの動作速度を上げるように設計されたグラフィックシステムで、標準的な DOS プログラムを使用すると前より遅くなってしまう可能性がある。パーソナルコンピュータのほかのハードウェア同様、グラフィックアクセラレータも動かしたいアプリケーションに合わせて選択しなければならない。

グラフィックコプロセッサ

多くのグラフィックコプロセッサが、多様なアプリケーションのために開発され、ディスプレイシステムに採用されてきた。その中には(日立の「HD63484」や Intelの「82786」など)一度も主流の製品になったことのないものもある。Intelの「i860」や「i960」もまた、いくつかのハイエンド製品に採用されているが、厳密にいうと、これらのチップは RISC マイクロプロセッサで、ディスプレイの

タスクを数多くしかもそつなくこなすが、特にグラフィックコプロセッサとして設計されたわけではない。グラフィックコプロセッサの中で有効な製品として支持されてきたのは、Texas Instrumentsの「TMS34010」と、その改良版の「TMS34020」である。

本質的には、どちらのチップもグラフィックスの扱いに最適化されたマイクロプロセッサである。たとえば、現在のすぐれたマイクロプロセッサと比較してみても、古い TMS34010 は大きな可能性を秘めたすばらしいチップである。32 ビット幅のレジスタを31 個持っているが、これは Macintoshで使われている68000 マイクロプロセッサの32 ビットレジスタの2 倍であり、Intelの80386 マイクロプロセッサの4倍である。TMS34020のアーキテクチャはまったく同じであるが、そのインプリメンテーションはさらに改良されており、古い方の2 倍の性能を実現している。

グラフィックスでは、レジスタの数が多いほど 有利になる。なぜなら、グラフィック処理のため の多くのパラメータが、チップとメモリの間を絶 えず行き来しなくて済み、プロセッサ内に留まっ ていられるためである。プロセッサから出してメ モリに入れ、またプロセッサに戻す、といった無 駄な情報の交換をスラッシングといい、速度に悪 影響が及ぶこともある。

マイクロプロセッサベースでレジスタを多く持っているため、TMS34010と TMS34020は既存のチップよりもピクセル計算を巧みに扱うことができる。これらのチップは汎用マイクロプロセッサの最もすぐれた機能(プログラム能力、演算機能、論理関数)とピクセルのブロック転送など専門のグラフィック機能を組み合わせているのである。

TI チップは完全にプログラマブルなため、適切なプログラムを書きさえすれば、ほかのグラフィックシステムの機能を真似ることもできる。しかし、TI チップはその開発元が設計したアプリケーションインターフェイス、「Texas Instruments Graphic Architecture (TIGA)」をうまく利用しており、今や多くのアプリケーションが TIGA に準拠して書かれるようになっている。TI チップをベースにしたグラフィックボードはそれぞれ異な

るものだが、TIは、TIGAインターフェイスに製品を簡単に合わせられるツールを各メーカーに提供している。TIGAを使うプログラムはすべて、この規格をサポートしているボードならどれでも使うことができるが、ボードが変われば違うソフトウェアドライバ(各ボードに付属)をインストールする必要がある。

TIチップはまさにマイクロプロセッサであり、機能を実行するためにはメモリを必要とするため、TIGAボードには2種類のメモリがある。フレームバッファ用のディスプレイメモリと、チップのオペレーション用のインストラクションメモリである。ほかのグラフィックシステムでは、ディスプレイメモリの大きさによって、ボードの最大解像度や保存されるカラープレーンの数がある程度決まってくる。

TIGAでは、パーソナルコンピュータのマイクロプロセッサがフレームバッファをアドレス指定することは通常はできない。そのため、これらのボードのほとんどは、TIGA環境のメリットを享受できないままで動かす場合(普通のDOSアプリケーションなど)は、別々のディスプレイシステムが必要である。その場合、TIGAボードはほかのディスプレイアダプタと共存するか、あるいは、TIGA回路のほかに標準のディスプレイアダプタを組み込まなければならない。こういった、組み込み、回路はオプションの場合が多い。たとえばDOSの機能を高めるためにメインのディスプレイボードに取り付けるドータカードなどもそうだろう。

このようなボードの"ナチュラルモード"の操作画面は、DOS アプリケーションに使用されるモニタとは別のモニタを通して表示される。この"2 モニタシステム"では、片方のモニタは DOS ディスプレイ (CAD プログラムに与えるコマンドなど)で、もう1つは TIGA ボード用である (CAD プログラムが作るワイヤーフレーム画面など)。 DOSディスプレイは VGA のような標準モードで動作するが、TIGA ディスプレイは高解像度表示が可能である。多くの人は2台目のモニタを買う余裕はないだろうし、机の上をこれ以上乱雑にしたいとも思わないかもしれない。このため、ほとんど

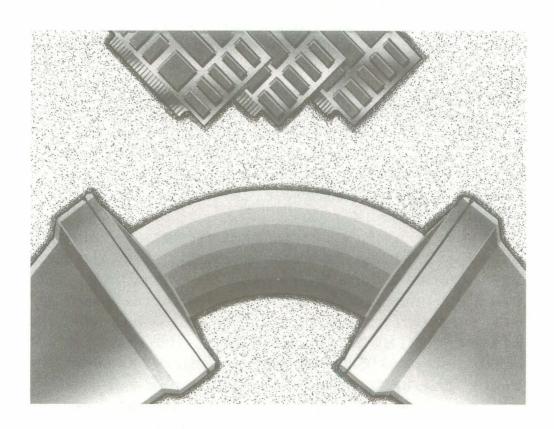
の TIGA アダプタは、オンボード VGA 回路を使うか、もしくは TIGA を介してループする標準ビデオボードの出力 (2 つのボードは接続されており、標準ボードアダプタの出力は TIGA ボードのコネクタに現れる)をサポートすることによって、1 台のモニタによるオペレーションも可能である。インストラクションメモリが多ければそれだけ、ディスプレイシステム全体の性能を上げることができる。たとえば、メモリはグラフィックコマン

ドで描画した結果を一時的に保存するため、計算 しなおさなくてもすぐに画像を再生できる。CAD アプリケーションではこれをディスプレイリスト メモリと呼んでいる。

ほかのマイクロプロセッサ同様、TMSシリーズのチップは異なる速度で動作することができる。ほかの条件が同じならば、グラフィックコプロセッサのクロックスピードが速ければその結果の表示も速くなるのだ。

第13章

ディスプレイアダプタ



脈打つように動作しているパーソナルコンピュータのデジタル回路の思考を、モニタが表示できる信号に変えるハードウェアを、ディスプレイアダプタと呼ぶ。何年にもわたって、ディスプレイアダプタは解像度やグラフィック能力を向上させ、カラー表示を可能にし、さらに表示可能な色の範囲を増加させて、パーソナルコンピュータユーザーの要求に応えてきた。そして、数多くの標準規格が展開され、それぞれがモニタ画面に映し出される画像の品質を向上させてきた。ディスプレイアダプタ自身がパーソナルコンピュータから消えてゆくことはあっても、標準規格としての遺産はその後も残っていくだろう。

最初の頃は、モデルも IBM PC の1つだけ、それに接続することのできるモニタも1種類だけで、選択肢というものはなかった。発達初期のモデルで使用されたモニタは黒地に緑で表示を行っていたが、これ以外にはオプションも代替品もまったくなかった。さらに悪いことには、その緑色の画面に表示されるものは、痩せ細ったテキストかブロックを組み合わせたグラフィックスで、クレヨンを卒業してようやく鉛筆に持ち換えた子供が描くようなお粗末なものだった。

このようなディスプレイを取り巻く初期の状況については、ユーザーがどんなモニタを買おうか迷わなくてすんだことが、強いていえば唯一の利点だったといえよう。色によってもたらされる芸術や美術、創造性、あるいは意志の疎通や理解の向上といったようなことまで気にする必要もなかった。

パーソナルコンピュータが、ただコンピュータであるというだけで満足していたマニアの手から、現実的な用途に使用する人々の手に移るやいなや、最初のディスプレイシステムの能力の不足が明らかになった。実際、ディスプレイには多くの改良の余地があった。そして、ディスプレイシステムに対する飽くなき要求は、絶え間なく進歩を続けるディスプレイ規格を生み出し、その進歩の流れは一向に止まる気配を見せない。こうして、かつてはコンピュータを普通のテレビ受信機に接続しても品質の良い表示は得られなかったのが、今や映画にもまさる画質を実現できるようになっている。

ユーザーにとって、今日のディスプレイシステムにおける唯一の頭痛の種は、ビデオ規格とディスプレイアダプタが山のようにあって選択に困ることである。すでに半ダースもの"公式な"ディスプレイ規格がありながら、新しいパーソナルコンピュータモデルの発表を追いかける形で、新しい規格を作り出す組織や新しいアイデアが次々と生まれている。標準規格とディスプレイアダプタは互いに協調関係にあるが、その関係は一定したものではない(規格を設定する団体も変わる)。最初のビデオ規格は当時の流行を左右していたディスプレイアダプタから簡単に決まった。つまり、IBM が製品を発表すると、その製品がそのまま業界標準になっていたのである。ほかのメーカーは IBM 製品の仕様と能力に合わせて、自分たちのディスプレイアダプタを設計していた。しかし、あとになって IBM は、ほかの企業の団体組織に押されて標準規格を設定する力を失い、コンピュータ業界は何年もの間揺れ動いていた。そのような中で、パーソナルコンピュータとそのディスプレイシステムに関する新しい規格を設定する委員会を組織するために、主要な企業が行動を共にする(最後には IBM も参加)ことになり、現在では Video Electronics Standards Association (VESA) が、パーソナルコンピュータ製品の主要なディスプレイ規格に対する公式な認可を行っている。

今日、伝統的なディスプレイアダプタは消えて、マザーボード上の一機能になりつつある。マザーボード上のローカルバスビデオシステムや PCI バスといった技術革新は、従来のディスプレイアダプタ設計を犠牲にすることによって、高い速度を達成している。しかし、たとえ従来のディスプレイアダプタが個別の存在としては完全に消えたとしても、それに採用されている規格は、市場のすべてのパーソナルコンピュータの本質要素として残るだろう。

ディスプレイシステムの発展の過程では、いくつかの脇道もできた。たとえば、VGA 規格が幅広く浸透する前には、Hercules Computer Technology によって開発されたモノクログラフィックシステムがモニタ画面上のビットイメージグラフィック用の主たる選択肢であった(低価格のパーソナルコンピュータの中には現在でも Hercules 互換のディスプレイアダプタを搭載しているものがある)。ソフトウェアの中には、今はもうすたれてしまったディスプレイアダプタによって設定された、IBM の古いビデオ規格に対して互換性を維持しているものがある。次ページの表 13-1 に IBM のビデオ規格を示す。これらの過去の規格のほとんどは、最新の機器でも有効である(これは IBM のディスプレイ製品に計画的にうまく組み込まれているバックワードコンパチビリティ*1のおかげである)。一番最初の原始的なディスプレイシステムでさえ、パーソナルコンピュータが動作している様子を視覚的に表わすための、最も低コストの手段として今も存在しているのだ。

したがって、パーソナルコンピュータに使用されるディスプレイアダプタに関する論議は、 最初の PC に搭載された IBM のモノクロームディスプレイアダプタから始めるべきだろう。 モノクロームディスプレイアダプタは、今や技術的には化石のようなものだが、続々と誕生 する新しいマシンを含めた数多くのパーソナルコンピュータの一部として、今も存在してい るのだ。

表 13-1 IBM ビデオ規格

解像度	色数	モード	キャラクタボックス			
MDA モノクロ	1ディスプレイアダプタ(1981年)				
720×350	1	Text	9×14			
CGA カラーク	[*] ラフィックスアダプタ(1981年)				
640×200	16	Text 8×8				
320×200	16	Text	8×8			
160×200	16	Graphics	None			
320×200	4	Graphics	None			
640×200	2	Graphics	None			
HGC Hercule	s グラフィックスカード	(1982年)				
720×350	1	Text 9×14				
720×348	1	Graphics	None			

^{*1} 訳注:バックワードコンパチビリティ(下位互換)。過去の機器の上に開発されたソフトウェアを最新の機器の 上でも動作させることを可能にするため、新しい機器に過去の機器との互換性を維持するように配慮すること。

解像度	色数	モード	キャラクタボックス		
EGA エンハン	スドグラフィックスアダプタ (1	1984年)			
640×350	16	Text	8×14		
720×350	4	Text	9×14		
640×350	16	Graphics	None		
320×200	16	Graphics	None		
640×200	16	Graphics	None		
640×350	16	Graphics	None		
PGA プロフェ	ッショナルグラフィックスアダ	プタ (1984 年)			
640×480	256	Graphics	None		
VGA ビデオグ	ラフィックスアレイ (1987 年)				
720×400	16	Text	9×16		
360×400	16	Text	9×16		
640×480	16	Graphics	None		
640×480	2	Graphics	None		
370×200	256	Graphics	None		
MCGA メモリ:	コントローラゲートアレイ(19	87 年)			
320×400	4	Text	8×16		
640×400	2	Text	8×16		
640×480	2	Graphics	None		
320×200	256	Graphics	None		
Super VGA (VES	SA 仕様) (1989 年)				
800×600	16	Graphics	None		
8514/A (1987	年)				
1024×768	16	Graphics	None		
640×480	256	Graphics	None		
1024×768	256	Graphics	None		
XGA 拡張グラ	フィックスアレイ (1990 年)				
640×480	256	Graphics	None		
1024×768	256	Graphics	None		
640×480	65,536	Graphics	None		
1056×400	16	Text	8×16		
解像度	垂直同期周波数 (Hz)	水平同期周波数 (kHz)	ハードウェアの互換性		
MDA					
720×350	50	18.43	None		
CGA					
640×200	60	15.75	None		
320×200	60	15.75	None		
160×200	60	15.75	None		

解像度	垂直同期周波数 (Hz)	水平同期周波数 (kHz)	ハードウェアの互換性	
320×200	60	15.75	None	
640×200	60	15.75	None	
HGC				
720×350	50	18.10	MDA	
720×348	50	18.10	MDA	
EGA				
640×350	60	21.85	CGA、MDA	
720×350	60	21.85	CGA、MDA	
640×350	60	21.85	CGA、MDA	
320×200	60	21.85	CGA、MDA	
640×200	60	21.85	CGA、MDA	
640×350	60	21.85	CGA、MDA	
PGA				
640×480	60	30.50	CGA	
VGA				
720×400	70	31.50	CGA, EGA	
360×400	70	31.50	CGA、EGA	
640×480	60	31.50	CGA, EGA	
640×480	60	31.50	CGA、EGA	
320×200	70	31.50	CGA、EGA	
MCGA				
320×400	70	31.50	CGA、EGA	
640×400	70	31.50	CGA, EGA	
640×480	60	31.50	CGA, EGA	
320×200	70	31.50	CGA、EGA	
Super VGA	用的 医二种医学科			
800×600	56、60、72	35.00、37.60、48.00	VGA、CGA、EGA	
8514/A				
1024×768	43.48	35.52	VGA パススルー*	
640×480	43.48	35.52	VGA パススルー	
1024×768	43.48	35.52	VGA パススルー	
XGA				
640×480	43.48	35.57	VGA	
1024×768	43.48	35.52	VGA	
640×480	43.48	35.52	VGA	
1056×400	43.48	35.52	VGA	

^{*}NOTE: VGA パススルーとは、ほかのボードやマザーボードに搭載された VGA アダプタからの信号を受け、それを高解像度ボードに接続されているモニタに渡す機能のことである。これにより、1 つのモニタを VGA とハイエンドアプリケーションの両方で使用できる。

13.1 モノクロームディスプレイアダプタ

最初の PC と共に 1981 年に発表されたモノク ロームディスプレイアダプタは、そのイニシャル をとって MDA という名前で一般に知られている。 公式の名前はこれよりもずっと長く、"モノクロー ムディスプレイおよびパラレルプリンタアダプタ" で、単にそのものを説明的に表わしただけである。 その名前の"モノクローム"は、MDAの最も重要 な特徴を表わしている。MDA は単色のディスプ レイ、特に膨大な数に及ぶすべての IBM システ ムの原点に位置する、毒々しい緑色の画面で動作 するように設計されている。また"ディスプレイア ダプタ"の部分は、この装置の機能を表わしてい る。このボードは、パーソナルコンピュータのバ ス上の信号を、ビデオのシステムが認識できる形 に変えるのだ。"パラレルプリンタアダプタ"は、 このボードの付加機能で、ほかの拡張スロットを 犠牲にすることなくプリンタを接続できる。

MDAは、技術的にはキャラクタマップシステムであり、IBMの拡張キャラクタセットのほかにはグラフィックに対する規定はまったくなく、トランジスタートランジスタ論理(TTL)規格(5Vで論理的なハイレベル、0Vでローレベルを示す形式の信号規格)に従ったデジタル信号を使用する。1987年までの数ヶ月の間、つまり、PS/2の製品群と同時にVGAシステムが発表されるまでは、MDAは当時としては最もシャープなキャラクタを画面に出力し、最高品質のテキストを作り出せる、唯一のパーソナルコンピュータのディスプレイシステムであった。

その素晴らしいテキストの品質は、偶発的に生まれたものではなかった。このシステムは、テキストをターゲットとして設計されたのである。MDAは、IBMがパーソナルコンピュータを使って絵を書くことなどまったく想像もしていなかったということを暗示している。PCが発表された当時、グラフィックは通常の小型ビジネスコンピュータの機能ではなく、ほとんどのメインフレームコンピュータのターミナルでさえ扱っていなかった。

MDA のドットボックス

大型のコンピュータシステムに使用されていたターミナルと同じくらい明瞭なキャラクタを表示するために、IBM は MDA のキャラクタボックスを 9×14 ピクセルとし、そのボックスの中のおもなキャラクタは、7×9 のマトリックスを使用して構成することにした。表示がより読みやすくなるように、キャラクタに使われないボックス内の余分なドットによって、各行の間に一定の間隔が確保されたわけである。この行間隔は、これがないために見にくい表示に苦労していた当時のユーザーに、たいへん歓迎された。このキャラクタボックスを、ほとんどの VDT に採用されている 80 列 25 行のデフォルト配列に置くには、垂直に 720 ピクセル、水平に 350 ピクセル、画面全体で合計 258,000ドットが必要である。

MDA のフレーム周波数

IBM は、すべてのドットを表示する方法については妥協した。高いフレーム周波数で全部の情報を表示するには、PC が発表されたときに存在した(少なくとも安価な)モニタよりも、広い帯域幅のモニタが必要だったからである。IBM はフレーム周波数を 50Hz まで下げる代わりに、標準のモノクロディスプレイには残光期間の長い蛍光体を使うことによって、発生するフリッカを補正した。このように、フレーム周波数が低いため、電子ビームの水平走査には余計な時間がかかるが、IBMのモノクロ規格のドット密度は、当時人気のビデオモニタ(およびテレビ受信機)よりも高い水平同期周波数が必要で、通常の 15,525kHz に対し18.1kHz という周波数であった。

6845ビデオコントローラ

MDA の基本は「6845 ビデオコントローラ」と、 キャラクタマップビデオ情報を保持するための 4K バイトの双方向スタティック RAM である。この メモリ容量は、ビデオの1ページ分しか保持でき ない。6845 は、一連のレジスタによって制御される、完全にプログラム可能なデバイスである。プログラムは6845 の様々なレジスタに値をロードして、6845 (およびこれをベースに構成されたディ

スプレイアダプタ) が生成するビデオ信号の特性を変更することができる。表 13-2 に 6845 チップのレジスタを示した。

表 13-2 6845 ビデオコントローラのレジスタ

レジスタ	説明	プログラム単位	書き込み/読み出し
R0	水平総キャラクタ数	キャラクタ	書き込みのみ
R1	水平表示キャラクタ数	キャラクタ	書き込みのみ
R2	水平同期信号位置	キャラクタ	書き込みのみ
R3	水平同期幅	キャラクタ	書き込みのみ
R4	垂直総行数	行	書き込みのみ
R5	垂直総行数調整	走査線	書き込みのみ
R6	垂直表示行数	列	書き込みのみ
R7	垂直同期信号位置	列	書き込みのみ
R8	インタレースモード	なし	書き込みのみ
R9	走査線の最大アドレス	走查線	書き込みのみ
R10	カーソル開始位置	走查線	書き込みのみ
R11	カーソル終了位置	走查線	書き込みのみ
R12	スタートアドレス (ハイ)	走查線	書き込みのみ
R13	スタートアドレス (ロー)	なし	書き込みのみ
R14	カーソル (ハイ)	なし	読み出し/書き込み
R15	カーソル (ロー)	なし	読み出し/書き込み
R16	ライトペン (ハイ)	なし	読み出しのみ
R17	ライトペン (ロー)	なし	読み出しのみ

カーソル

画面上で点滅するカーソルは、6845 ビデオコントローラによって作り出されている。このカーソルは、点滅周期がシステムのハードウェアによって設定されていて、変えることができないことから、ハードウェアカーソルと呼ばれる。ただし、値を6845 ビデオチップの適切なレジスタにロードすることによって、点滅を停止したりカーソルのサイズを変更することは可能である。

インターフェイス

MDA は周波数だけでなく、接続方法もほかの 様々なモニタとは異なるものを採用したが、IBM の影響力と PC が広範に普及したことによって、 一般的になものになった。MDA からの TTL信号は、電子銃に対するドライブ信号、輝度ビット (これにより強調されたドットとキャラクタはより 明るく光る)、水平同期信号、垂直同期信号の 4種類から成る。これらの信号はいずれもデコードする必要がなく、これらを扱うディスプレイ回路の一部に直接に接続されることから、ダイレクトドライブと呼ばれることもある。

MDAと互換性があるモニタは、"ダイレクトドライブモニタ"と呼ばれることがある。また、これらのモニタは TTL の回路系統により規定される電圧レベルに従っていることから、"TTL インターフェイスモニタ"と呼ばれたり、MDA のデジタル信号を使用するので、"デジタルモニタ"とも

呼ばれたりする。

これらの信号は、MDA のブラケットのメスの 9 ピン Dsub コネクタのピンに割り当てられている。そのピン配列を図 13-1 に示す。

MDA ボードで動作するのは、TTL インターフェイスモニタか MDA モニタだけなので、注意

が必要だ。コンポジットモノクロモニタは MDA とは互換性はないので、"モノクロ VGA モニタ"と呼ばなければならない。これらの種類の異なるモニタは、使用しているコネクタの形も違うので、MDA ディスプレイには接続することさえできない。

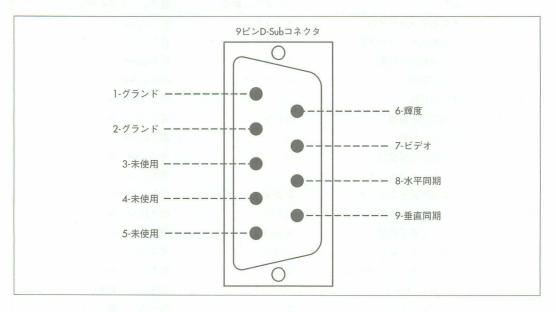


図 13-1 MDA のピン配列

13.2 カラーグラフィックスアダプタ

IBM がパーソナルコンピュータのために開発した最初のビットマップディスプレイアダプタが、カラーグラフィックスアダプタ (CGA) である。これが 1982 年に MDA に代わるものとして発表されたとき、プレーンな緑色のコンピュータ画面に慣れた人々はその画像の鮮明さに目をみはった。今日のディスプレイシステムと比較すると、CGA の色彩はむしろくっきりしており、16 種類の輝度と原色の組み合わせ(黒、ダークグレー、ライトグレイ、白なども含まれる) が表示できる点を特長としていた。これらの色をテキストを多色化する以外にも利用するため、CGA ボードは実用に十分耐え

るものから中途半端なものまで、いくつかのレベルの解像度を持つグラフィックスモードを取り入れた。名前が示すように、CGAシステムはカラー画面でグラフィックスを表示することを目的として設計されたものだが、テキストモードも持っており、モノクロームディスプレイと一緒に使用することもできた。ただしIBMのMDAディスプレイとは接続できない。

CGA ディスプレイアダプタは、モノクロおよび カラーのコンポジットモニタの両方で使用でき、ま た、テレビ受信機で使用できるようにモジュレー タに対する出力も持っていた(もちろん、テレビ を CGA ボードに直接接続するには、テレビにモニタと同じ形式のコンポジットのビデオ入力がなければならない)。 さらに、CGA ボードはライトペンを接続できる機能を持っていた。

CGAは、複数モードを持つディスプレイアダプタとして設計されたもので、キャラクタマップとビットマップの両方のディスプレイ技術が使用でき、さらに各々についていくつかのオプション設定が可能だった。画像を格納するために、CGAのボードはダムフレームバッファとしての機能を持ち、システムのマイクロプロセッサから直接アクセスできる16Kバイトもの大量のメモリを搭載していた。

CGA はもはや時代遅れのものになっており、現 在ではこの規格に適合するディスプレイアダプタ としては、10ドルたらずの処分品や輸入品のク ローンボードしかない。これに適合するモニタも、 中古品か在庫処分品以外にはまず見つからないだ ろう。しかしながら、IBM によって作られたほか のすべてのディスプレイシステムの中には CGA が生きている。最新のディスプレイアダプタのカ ラーテキストモードは、CGA のアドレッシング 方法をエミュレートしている。また、現在のディ スプレイアダプタのほとんどすべてが、CGA ディ スプレイを使うことを前提に書かれた過去のソフ トウェアと互換性があるグラフィックスモードを 持っている。CGA 規格は、これからの世代の製品 ではソフトウェアの互換性のためにのみ存在する と思われる。

CGA のキャラクタモード

CGAシステムのテキストモードは、MDAシステムのテキストモードとそっくりに設計されている。テキストモードは起動時の初期モードであり、CGAシステムのキャラクタマッピングモードである。CGAテキストモードと MDA テキストモードの主な相違点は、メモリに使用されているベースアドレスと、サポートされているキャラクタの属性(アトリビュート)に見られる。

また、CGA ハードウェアは 2 つの初期の IBM 規格とも違っている。MDA が非標準の水平およ び垂直同期周波数を使って鮮明な画像を生成する ような、専用モニタで動作するように設計されたのに対して、CGAシステムは標準の周波数を選択している。つまり、コンポジットビデオディスプレイの水平/垂直走査速度をベースにして設計されているため、CGAシステムは、当時の大半のモニタと互換性を持つことができたのである。しかしこのため、画像の品質が犠牲にされている。

コンポジットビデオ規格 (水平同期周波数が 15,525Hz、垂直同期周波数が 60Hz である) の範囲で動作できるように、CGA システムはディスプレイを 640×200 ピクセルに分割している。これで MDA が採用しているのと同じ 80×25 の配列で 2,000 文字を画面に表示するには、ドットボックスは 8×8 ピクセルにせざるをえない。これは、見た目にも計算上も、最低品質のドラフトモードで動作する 9 ワイヤのドットマトリックスプリンタの出力より品質が劣るということである。

CGAの16Kバイトのメモリは、4ページのテキストを処理するのに十分な大きさである。この4ページのうち、通常テキストモードで使用されるのは1ページ、つまり先頭ページだけであるが、残りのページに対しては、BIOSかCGAのモードレジスタを直接変更すると、プログラムおよびユーザー自身がアクセスできるようになる。

CGAキャラクタの品質

CGAシステムでは、各キャラクタに7×7のマトリックスが割り当てられ、下に突き出る文字(g、j、p、q、y)と文字間隔のために、それぞれ1ドットが確保されている。このため、ドットボックスの高さいっぱいを占める下方突出文字は、下の行の上方突出文字(b、d、f、h、k、l)と接触することになる。また、ドット数が少ないため、画面上のテキストは、MDAが生成するテキストと比べると雑に見える。

40 桁テキスト

このような貧弱なキャラクタでさえ、標準的なカラーのテレビ受信機で見るよりは鮮明である。 大半のテレビでは、受信装置内部とブラウン管の両方の信号の解像度に限界があるため、1 行80 桁のテキスト行では判読可能とはいえばやけた表示 になってしまう。テキストをカラーテレビに鮮明に表示するために、IBM はテキストの桁数を80桁から40桁に減らした特殊な低解像度テキストモードを追加している。行数はテレビでも問題ないので、ほかのディスプレイの場合と同じ25行のままである。

40 桁テキストモードのキャラクタは、80 桁モードに採用されているのと同じ8×8ドットボックスの中で作られるため、同じ品質上の制約を受ける。これらのキャラクタは雑に見えるが、幅が広くなっているために80 桁モードのキャラクタよりは読みやすい。

40 桁モードは、PC の黎明期においてさえも重要な計算に使用されることはほとんどなかったが、DOS ユーテリティを始めとする多くのプログラムは、40 桁を超えないテキスト行を作ることでこのモードに配慮している。一部のディスプレイの表示が変に見えるのはこのためである。安いマシンでも確実に動作するように、ユーテリティはこの40 桁モードで作成されている。

テキスト色

いずれのテキストモードでも、CGA の属性システムによって、最大 16 色のカラーパレットを一度に画面に表示できるようになっている。テキストのキャラクタはこれらの 16 色中の 1 色で表示することができる。この属性システムは、現在でも VGA システムのテキストモードに採用されている。

この CGA の属性システムのもとでは、キャラクタの背景、つまり 8×8ドットボックスの中のキャラクタに使用されないドットは、これら 16 色中のキャラクタに使用した以外の色に設定することができるが、1つ制限がある。システムのデフォルト時の動作モードでは、バックグラウンドカラーは8色だけに限定されるのだ。これは、バックグラウンドカラーの輝度を制御するアトリビュートバイト中のビットに別の仕事(キャラクタの点滅動作の制御)が割り当てられているためである。

CGAボード上のあるレジスタによってこの属性ビットの定義は変更される。このレジスタに数値をロードすると、ユーザーまたはプログラムは、

点滅と高輝度のバックグラウンドカラーのいずれかにその機能を切り換えることができる。ただし、このレジスタが画面上のテキストすべてに影響を及ぼすことに注意しなければならない。つまり、点滅するキャラクタと高輝度のバックグラウンドカラーを、画面上で同時に使用することはできないということだ。

CGAでは、プログラマがこのレジスタを直接 操作しなければならないが、これより進んだ IBM ディスプレイアダプタには、この機能を処理する 特別な BIOS ルーチンが付加されている。

境界色

CGAの別のレジスタは、境界色(border color)を制御している。画面の境界とは、テキストが表示される有効なデータ領域の外側にある画面区域のことである。黒地に白というのが CGA ディスプレイのデフォルト色であるが、この場合は画面を取り巻いている黒色の境界は見た目には気がつかない。しかしテキストのバックグラウンドカラーを変えると境界が現われて、テキストディスプレイには文字の端と境界の間に不快になるほどにきつい輝度の差が現れる。

CGA システムが表示できる 16 色中のいずれかの境界色に CGA レジスタを設定すると、画像は見やすくなる。このレジスタは**色選択レジスタ**と呼ばれ、I/O ポートの 03D9h にある。このレジスタの下位 4 ビットが境界色を制御している。

フリッカとスノー

CGAなどのディスプレイシステムの多くに見られる、最も顕著で最も不快な特徴の1つに、ディスプレイが高解像度のテキストモードでスクロールする際に現われるちらつきという現象がある。このフリッカと呼ばれる現象は、ディスプレイアダプタが直接の原因ではない。グラフィックスアダプタが高速なプログラムに使用される場合に、パーソナルコンピュータの処理速度が遅いことが原因である。

画像を画面上でスクロールする際には、画面上 のすべてのキャラクタ(およびその属性)の位置を 変更しなければならないため、ディスプレイが使 用しているすべてのデータを移動しなければならない。IBMのディスプレイシステムは、電子ビームが1つのフレームの終わりである画面の最下部の位置から、次のフレームの始めになる画面の最上部まで移動する間、つまり、垂直帰線期間と呼ばれるこの短い期間に限定して、情報が画面に書き込まれるように設計されている。この帰線期間中は電子ビームはオフにされるため、何を送信しても画面には表示されない。

CGAやほかのディスプレイメモリが、電子ビームが無効にされていないときに変更されると、ディスプレイシステムは、データの変更中にビデオメモリを走査してしまう可能性がある。結果として、すべての無効なパルスが拾い上げられて画面に送信されることになる。この効果は画面上では動画のフラッシュのように見える高輝度ドットの突風として現れる。この奇妙な画像のフラッシュが、俗にスノーと呼ばれるもので、正式にはビデオノイズという。不規則に置かれるドットが、想像力を働かせると雪嵐のように見えることからこのような呼び方をされている。

CGAカードには、帰線動作が発生している期間を表わすステータスビットがある。これは、プログラムまたはBIOSが画面に書き込みを行えるかどうか知りたいときに照会する"敵艦なし"を意味する信号である。ただし、帰線時間はせいぜい数行が更新できる程度の短さである。このスノーを避けるには、複数の帰線期間中またはスノーが発生する間はスクロール速度を遅くしなければならない。IBMでは、スクロール中に画面が更新されるときには、その期間中、電子ビームをオフにしてこの問題を回避している。この場合、目に見えない垂直帰線期間中に瞬間的に消すのではなく、画面を1秒にかなり近い時間、はっきり見える程度に消すのだが、同時にこの画面消去がフリッカの原因となる。

CGA アダプタの場合には、スノーを解決しようと思ったらフリッカの問題は諦めなければならない。これに対しほかのビデオアダプタは、1回の帰線期間で完全に更新できる高速メモリを採用したり、2つの問題を同時解決するために、読み取り中に更新できる別のタイプのメモリを採用した

りしている。ただし、これらの高速ボードを使っても、ビデオの帰線を待つと画面の反応が遅くなる場合がある。アプリケーションソフトウェアの中には、ルールに従ってIBMのスノー除去方式によって画面を更新するか、スノーなしで収まる保証はないがデータをビデオメモリに全速力で書き込むかの選択が行えるものがある。高速のパーソナルコンピュータやディスプレイアダプタを使用すれば、後者のモードで画面に影響も出さずに高速性を手にすることができる。

グラフィックスモード

CGA 規格には、低解像度、中間解像度、高解像度と呼ばれる3段階の解像度のグラフィックスモードがある。ただし、これらの名称はシステムの導入時点では適切だったが、現在では、CGAの最高解像度でさえ、大半のディスプレイシステムと比較すると低いレベルになっている。

CGA グラフィックスの各解像度では、16K バイトという使用可能なメモリ容量がボトルネックとなって、画面上のドット数と表示可能な色数はどちらか一方を犠牲にしなければならない関係になっている。

低解像度

CGA の低解像度グラフィックスモードでは、画面は 200×160 ドットで構成される (ただしこのモードは IBM ではサポートしていない)。このディスプレイには 32,000 ピクセル必要であり、属性の格納には 4 ビットを使用するため、4 色プレーンで 16 色が実現される。低解像度モードでは、CGA システムで使用できる 16 色すべてを同時に発色できるが、画像がずんぐりして見えるために、このモードは現在ではほとんど使用されていない。

中間解像度

色と鮮明さに妥協点を見出すために、IBM は中間解像度モードを設計している。この中間解像度 規格では、320×200ドットで同時に最大4色を発 色できる、2枚のカラープレーンを実現している。 ただし、この4色はランダムに選択することは できない。IBM は4種類のパレットに使用を限定 している。赤、緑、茶、黒からなるパレットと、白、マゼンタ、シアン、黒(または選択されているバックグラウンドカラー)からなるパレット、そしてこれらの高輝度タイプの2種類のパレットである。使用するパレットは特定のビットを使って選択する。ビット5で、赤/緑パレット(0設定)かマゼンタ/シアンパレット(1設定)かの選択を行い、ビット4で輝度を選択する(低輝度の場合には0、高輝度の場合には1を設定する)。また、ビット0から3ではバックグラウンドカラーを選択する。BIOSによって設定されるデフォルト値は、バックグラウンドカラーが黒で、高輝度のマゼンタ/シアンのパレットである。

高解像度

CGA の高解像度モードでは、1 ビットが画面の 各ピクセルに割り当てられるため、横 640、縦 200 のピクセル配列を個別に制御することができる。 属性情報を格納する追加メモリが CGA では使用できないため、すべてのピクセルは同色、同輝度でなければならない。ただし、色選択レジスタを使って希望する色を選択することができる。

CGA のメモリ構成

グラフィックスモードでは、CGA は特殊なメモリ構成を採用している。0から始まる偶数番号の走査線を、絶対メモリアドレス 0B8000hから順番に格納する。また、奇数番号の走査線は、これに2000hを加えたアドレスから順番に格納する。このような特殊な構成が使用されているのは、ハードウェア設計の事情からである。

複数ビットが1ピクセルに割り当てられるときには、これらは連続したビット列として特定の記憶場所に保持される。中間解像度モードの場合には、1バイトあたり4ピクセルである(図13-2参照)。

中解像度グラフィックモードでは、1バイトは画面上の4ピクセルに対応している。2ビットのパターンで、1種類のバックグラウンドカラーと3種類のフォアグラウンドカラーの4色を表わす。

ビット1	ビット2	ビット3	ビット4	ビット5	ビット6	ビット7	ビット8
4番目のピクセル		3番目のピクセル		2番目のピクセル		1番目のピクセル	

これらのデータは、走査線に沿って配置される。走査線は2つの記憶エリアを交互に使用する。偶数ラインは下位の8Kのバンクに記憶され、奇数ラインは上位の8Kバンクに記憶される。下図参照。



図 13-2 CGA 中間解像度におけるグラフィックスデータ格納場所の配列

この特殊な構成は、すべてのグラフィックスソフトウェアおよび言語が自動的に処理するため、ユーザーの負担にはならない。

出力

ビデオディスプレイを CGA に接続するのに 3 種類のコネクタが使用できる。使用するコネクタ は、接続先のディスプレイの種類によって決まる。 推奨ディスプレイは、9ピン Dsub コネクタを介して TTL デジタル入力を使用している「IBM 5151型パーソナルコンピュータ用カラーディスプレイ」である。個別のオンオフデジタル信号が、それぞれのカラー電子銃(赤、緑、青)、輝度ビット(3つのすべての電子銃を同時に高輝度にする)、水平同期、垂直同期、および接地用に用意されている。このピン配列を図 13-3 に示す。

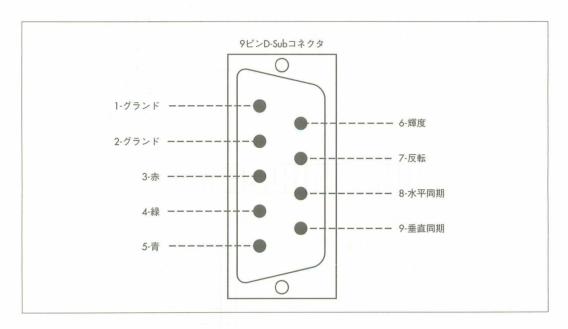


図 13-3 CGA RGB インターフェイスピン配列

これらの信号は、垂直同期信号以外はすべて正論理である。つまり、ハイのデジタル信号はそれが制御するカラー電子銃をオンにするか、同期パルスであることを意味する。この方式の接続が普及したばかりの頃には、この構成が開発者に多くの混乱を引き起こしたことがあった。水平同期信号は通常は負だったために、IBMの信号が反対になっているように見えたのである。

CGA のコンポジット出力は、カードのブラケッ

ト上にある RCA スタイルのピンジャックからと、ボードの表面のヘッダの一部から提供される。RCA ジャックから提供される信号は、NTSC 規格に準拠しているカラーおよびモノクロディスプレイの両方に使用することができる。

カード自体から提供されるコンポジット出力は、RF モジュレータ用である。この1列のヘッダのそれ以外のピンは、RF モジュレータの動作に必要な電圧を供給している(図 13-4 参照)。

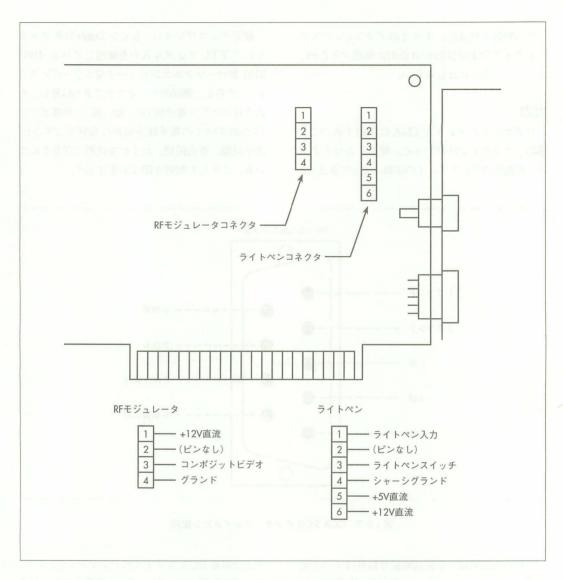


図 13-4 CGA RF モジュレータ出力ピン配列

モノクロモード

モノクロコンポジットモニタを CGA に接続すると、画面は垂直線が目ざわりなほどに揺れて、鮮明な色ではなく陰影が現れる。テキストはほとんど読み取ることができないほどである。この不快な表示は、コンポジットビデオ信号の1つであるカラーサブキャリアに起因している。カラーサブキャリアは、ビデオ信号の帯域幅を制限してモノクロ情報に干渉するため、画面におかしなパターンが表示されるのである。

この問題は、カラーサブキャリアをオフにする モノクロモードに切り換えると解決できる。ユーザーは、数値を CGA レジスタにロードすること によってこれを制御できるが、DOS と一緒に提供 される「MODE コマンド」を使用すると、さらに 簡単に行うことができる。カラーサブキャリアを オフにしたい場合には、次のコマンドを入力すれ ばよい。

MODE BW

ダブルスキャンCGA

CGAと比較して画面の解像度を2倍にできる現在のVGA解像度から見ると、パーソナルコンピュータの最初のグラフィック表示規格は、新しいハードウェアから取り残されてしまったと考える人がいても不思議ではない。しかし実際には、CGAグラフィックスにのみ対応できる新型マシンが相次いで登場している。これらのシステムのほとんどすべてはモノクロで、通常CGAの640×200ピクセルより高い解像度を実現している。一般にこれらのグラフィックシステムは、LCDパネルを採用しているラップトップおよびノートパソコンに見られる。

これらのディスプレイシステムは、CGA 画像のダブルスキャンを採用することによって、CGA グラフィックスより高い解像度を実現している。つまり、640×200 ピクセルではなく、640×400 ピクセルを画面に表示しているのだ。このダブルスキャン技法によって、CGA 規格が利用できると同時に、鮮明な画像も手に入れることができる。しかし最も重要な点は、このダブルスキャン CGA によって、高品質の VGA システムよりも低コストの LCD パネルが利用できることである。画面の行数が少なくなれば、パネル中のピクセル数も少なくなり、製造コストも低く押さえることができるのである。

ダブルスキャン CGA は、単純に二重に走査するだけならば CGA 画面と同程度になるに過ぎない。しかし、テキストモードのダブルスキャンシステムは、通常の CGA システムとは異なった文字生成機構を使用している。ダブルスキャンシステムは、ピクセルをコピーしてキャラクタマトリックスを拡張する代わりに、8×16マトリックスから個々のキャラクタを生成している。つまり、ダブルスキャンのテキスト文字は2倍鮮明になり、現在標準になっている最高品質のディスプレイアダ

プタが生成するキャラクタの品質と変わらないの である。

このダブルスキャン CGA の欠点は、グラフィックスである。このシステムが通常の CGA アドレス指定方式を維持しているため、そのダブルスキャンがグラフィックスの鮮明さに関しては成果を上げていないのである。画像の各ピクセルが垂直寸法で単純に 2 倍にされるだけである。この結果として、写真画像の粗い粒子と同様に、640×400 ピクセルのディスプレイシステムによって生成されるよりも大きなピクセルが生成される。つまり、通常のダブルスキャン CGA グラフィックスは、旧来の CGA グラフィックスと比較しても鮮明であるとはいえないのだ。ダブルスキャンの利点は、鮮明なテキストが得られることと、グラフィックスに CGA と互換性があることだけに限定される。グラフィックスの品質向上は期待できないのである。

ただし、ダブルスキャン CGA によるグラフィッ クスの品質を向上できる場合がある。たとえば、 AT&T の「モデル 6300」という PC 互換コンピュー タなどが採用している一部の標準からはずれたディ スプレイシステムは、専用モードで600×400の画 像を作成している。この AT&T ディスプレイシ ステム用の一部のソフトウェアドライバは、ダブ ルスキャン CGA システムを駆動して、グラフィッ クスモードで完全な 400 ラインの品質を実現して いる。ダブルスキャンディスプレイシステムが利 用できる場合には、グラフィックスアプリケーショ ンを AT&T ディスプレイシステムにセットアッ プして、その効果を見てみる価値はある。AT&T ドライバが動作する場合には、グラフィックスの鮮 明度が2倍になるという利益を享受することがで きる。たとえドライバが動作しないことがわかっ たとしても、実験に費やす数分間を失うだけのこ とである。

13.3 Herculesグラフィックス

CGAディスプレイシステムは、その方向性は正しいが、2つの大きな欠点があった。それほど鮮明ではないこと、そして、グラフィックスをパーソナルコンピュータに追加したい場合には、ビデオアダプタと新型モニタの両方を購入しなければならないことである。後者の必要性は、モノクロシステムに投資したばかりだったり、カラーが必要でないユーザーには特に腹立たしいものだった。完全に良好で鮮明なテキストベースの画像システムが利用できるのに、グラフィックス用にディスプレイを再び購入することは、少なくとも CGAおよびカラーディスプレイを販売している人は例外として、納得できないものに思われたのである。

Kevin Jenkins が率いる Hercules (ハーキュリーズ) Computer Technology Inc. は、これに対して完全と思われるようなソリューションを開発している。その優れた性能ゆえ、それは IBM 自身の手によらないものとしては初めての汎用ビデオ規格になっている。

Hercules グラフィックスカード(HGC)は、ビットマップグラフィックスをキャラクタマップの MDA に追加するという触れ込みのソリューションだった。しかし、Hercules 社には、Lotus Development Corporation から「1-2-3」でサポートを受けるという先見の明があった。パーソナルコンピュータで最も人気があるプログラムの「1-2-3 グラフィックス」は、これ以降長期にわたって、HGC 購入の正当性の後ろ盾となっている。

HGC の互換性

HGC の基本は、MDA の完全なエミュレーションだった。機能的な面から見ると、この 2 つのボードはテキストモードではまったく同様に動作し、まったく同じケーブルおよびディスプレイを使って、同じ周波数で動作した。キャラクタは、720×350ピクセルのフルスクリーン解像度、18.1kHz の水平同期周波数、50Hz のフレーム周波数からなる画面に、同じ 9×14 ピクセルのドットボックスを

使って生成された。下線、点滅、高輝度、反転表示などの IBM MDA の属性はすべて、この HGC によってサポートされている。また HGC は、MDA と同様に 03BCh をベースアドレスとするパラレルプリンタポートさえ備えていた。

HGCは、MDAハードウェアおよびそのテキストモードソフトウェアと互換性があるが、IBMグラフィック規格との間では互換性がない。HGCのサポートが必要な場合には、アプリケーションを特別に作成しなければならない。CGAおよびそのほかのIBMグラフィック規格に対して作成されたプログラムは、このHGCサポートなしでは、HGC上で正しく実行しない。

HGC のメモリ構成

HGCが際立っている点はそのメモリ構成にあった。MDAの4Kバイトとは対照的に、HGCには、それぞれ0B0000hおよび0B8000hのベースアドレスの、つまり、MDAおよびCGAの両ボードに割り当てられた範囲を占める、2つの連続した32Kバイトのバンクで機能的に構成された64Kバイトメモリが装備されていた。

HGC がサポートしている各種のビデオモードのおかげで、このメモリは複数の目的に使うことができた。テキストモードでは、最大16ページのテキストページに当てることができた。また、グラフィックスモードでは、2ページのフルスクリーンの高解像度モノクロ画像に十分なメモリ容量になっている。

メモリのオーバラップ

Hercules モノクロシステムの1つの問題点は、その64K バイトが大き過ぎて、モノクロメモリに確保されている32K バイト空間に収まらないことだった。したがって、カラー領域にオーバラップするため、同じシステムにCGA ボードが接続されていると、衝突する可能性があった。

Hercules 社による解決策は、ソフトウェアス

イッチによって制御し、CGA との両立性を確保することだった。デフォルトの起動モードでは、HGC はメモリの半分、つまり 0B0000h のベースアドレスから始まる 32K バイトだけをイネーブルにすることによって、衝突を防止する。入出力ポート 03BFh にあるソフトウェアコンフィギュレーション切り換えレジスタに値を書き込むことによって、HGC はそのメモリの両バンクを使用できるように切り換えることができる。つまり、このポートにあるレジスタの2番目のビット(ビット1)に0を書き込むと、メモリの2番目のバンクが使用禁止になる。一方、1を書き込むと、2番目のバンクが使用可能になる。

HGC.COM と呼ばれる特殊なプログラムが、ボードと一緒に供給されている。その"FULL"オプションを使ってこのプログラムを実行すると、HGCのフルメモリが使用可能な状態になる。一方、"HALF"オプションを使うと、上位バンクがオフ状態に切り換えられる。後のソフトウェアは、この切り換え処理を Hercules グラフィックス用に設計されたドライバに組み込んでいる。

Hercules グラフィックス規格

グラフィックスモードで、HGC は画面上の解像

度を 720×348 へとわずかに変更している。1 ビットが各ピクセルに割り当てられ、属性は持っていない(ピクセルのオンオフのみ)。画面の 8 連続ビットに1バイトが割り当てられるため、720 ピクセルの1 行に 90 バイトが割り当てられている。各バイトの最上位ビットが、このバイトに格納されている最左端のピクセルに対応している。

ただし、行は画面上の表示順と同じ順序でメモリに格納されているわけではない。メモリ中の連続した行は、画面上に別々に表示される。要するに、画面は4つのフィールドに分割されており、各フィールドから1行ずつをメモリに割り当て、続いて各フィールドの2行目がメモリに割り当てられ、以下の行が同様に続くのである。

グラフィックスモードへの切り換えは、データをソフトウェアコンフィギュレーション切り換えレジスタに書き込むことによって行われる。入出力ポート 03BFh に位置するこのレジスタの先頭ビットが、モードを制御している。つまり、ここに0を書き込むとグラフィックスモードが使用禁止状態になり、1を書き込むとグラフィックスモードが使用可能状態になる。

13.4 拡張グラフィックスアダプタ(EGA)

1984年までには、CGAシステムの欠点は誰の目にも明らかになっていた。読み取り困難なテキスト表示と目の粗いグラフィックスが、眼精疲労を起こさせていたのである。

これに対する IBM からの回答は、新しいビデオアダプタをベースにした、拡張グラフィックスアダプタ (EGA) であった。この新システムは、各種の機能強化を図っていた。まず、画面の解像度を向上させている。濃い緑色の IBM パーソナルコンピュータディスプレイなどのモノクロディスプレイでも、グラフィックスを表示可能にしている。また、PC および XT に組み込まれた既存の

ROM ベースのビデオサポートを拡張する BIOS ルーチンを追加している。

EGAは、CGAとバックワードコンパチビリティを維持して設計されているため、旧式のディスプレイシステム用に作成されているプログラムも、この新ボードで正常に動作する。ただし、EGAが提供する鮮明な画像には高周波数信号が要求されるため、まったく新しいスタイルのモニタが必要になった。

長期的に見た場合に、EGAは中間ステップであることがわかった。つまり、優れたアダプタではあったが、十分とはいえなかったのである。3年

間の全盛期を過ぎると裏舞台へ追いやられ、現在は VGA システムの少数の表示モードとして生き残っている。EGA 製品に対するサポートおよび製品自体は、現在はもっと高い解像技術が簡単かつ低コストで利用できるために消えつつある。

EGA の解像度

EGA がパーソナルコンピュータの世界に貢献した重要な改善に、IBM の対応モニタである拡張グラフィックスディスプレイ上で実現した鮮明な画像がある。EGA は、解像度を 640×350 ピクセルまで押し上げ、 8×14 ドットのボックスにキャラクタを生成した。EGA のドットボックスは、MDAが使用したものよりも1 ドットだけ狭かったが、各キャラクタは同じ 7×9 マトリックスから生成されていた。さらに重要なことは、EGA では画面上で行間に十分な余白があるため、上に突き出る形の文字(b、d、f、h、k、l)と下に突き出る形の文字(g、j、p、q、y)が接触しないことである。最終的に、カラーテキストもモノクロと同程度に読み取れるようになった。

また、EGA システムは、その 640×350 の解像 度をグラフィックスにまで拡張している。それまで IBM がサポートしていたグラフィックスモード もすべて、VGA の能力の範囲にあったため、全 体として CGA グラフィックスと互換性をもつこ とができた。

EGA の周波数

EGA で増加したドットをビデオ信号に変換するために、IBM は、このシステムが使用する水平走査周波数を拡張しなければならなかった。CGAのテレビ互換の水平走査周波数である 15.575kHzではなく、EGA は 23.1kHz を採用している。ただし、画像フリッカを最小限にするために、EGAは CGA の 60Hz フレーム周波数をそのまま採用している。

EGA のカラー

さらに注目すべきは、EGA 規格が実現したカラー機能の強化だった。アダプタ/ディスプレイ間のインターフェイスを変更することによって、

EGAシステムの使用可能なパレットは64色まで増えている(モノクロのときは各色に対応するグレーの階調を持っている)。さらに、EGA 規格のメモリ容量が増加したため、もっと多色の虹なども高解像度で表示することが可能になっている。その最大の解像度および最大のメモリ容量を駆使すると、EGA は一度に640×350ドットの画面上に、64色のパレットから16種類の階調を表示することができる。

EGA のモノクログラフィックス

また、EGA は、IBM の世界で支配的であった 2 つの規格方式を無用にするような設計になっている。EGA アダプタは、カラーおよびモノクロの両ディスプレイを適切に扱うことができた。パーソナルコンピュータの上部を開かずに、カードのブラケットの切り込みを通してアクセスできるように手際よく配置された DIP スイッチを設定すると、EGA は任意の標準 IBM ディスプレイに適合することができる (ただし、コンポジットモニタはこれに含まれていない。EGA にはコンポジット出力がないからである。繰り返しになるが、IBM がパーソナルコンピュータ用のコンポジットディスプレイを製造したことはない)。

さらに重要なことは、モノクロディスプレイのサポートがグラフィックスまで拡張されたことである。EGAは、IBMの最初のモノクログラフィックス規格を提供している。ただし、IBMは我が道を進んで、Herculesグラフィックスカードが採用したグラフィックス規格には見向きもしなかった。その代わりに自社の規格を選択した。この規格はEGAカラーグラフィックスとの間で互換性があるため、EGAモノクロおよびカラーグラフィックスの両方と互換性のあるプログラムを作成する場合であっても、特別な作業が要求されなかった。Hercules 規格を採用したら、EGAのカラーグラフィックスおよびモノクログラフィックスに対して、別個のコードを作成しなければならなかったと思われる。

EGA のメモリ構成

EGA が導入された時点では、IBM の初歩的な

BIOS ルーチンを使用することから生じる速度の低下に我慢できずに、データを直接ビデオメモリに転送するアプリケーションが多数作成されていた。EGAで、使用するメモリ構成が変更されたことによって、アダプタはこれらの既存アプリケーションと互換性が維持できなくなっている。

また、EGA の設計者は別の問題にも直面した。 色数および解像度の向上には、自動的により多く のメモリが必要になる。ビデオ情報の保持に 8088 マイクロプロセッサのアドレス範囲内の、限られ たアドレス範囲を割り当てることができれば、こ のことは問題にならない。

IBM による解決策は、EGA をバンク切り換え型メモリカードにすることだった。そのビデオメモリは、4つのプレーンに分割され、これらが交互に8088のアドレス範囲に切り換えられるようになっている。

標準 (最小) 構成では、EGA には 64K バイトの RAM が搭載され、これが 4 つの 16K バイトのバンクに分割されていた。ホストシステムにとって、EGA で拡張されたモードやバンク切り換えを使っていない場合には、CGA ボードと同様に扱われる。

この64K バイトは、EGA のワイドパレット、高 解像度モードには十分でなかった。このため IBM は、メモリ拡張用のドータカードを使って256K バ イトまで拡張した。EGA メモリの拡張分は、カー ドの各バンクに等分に振り分けられたために、最 大構成で、4つのバンクはそれぞれ64K バイトに なった。

EGA ボードのメモリは、ビデオメモリに直接書き込みを行うプログラムとの互換性を維持するため、CGA または MDA のベースアドレスに切り換えることができる。ただし、EGA モードでは、ボードメモリのベースアドレスは 0A0000hへと下方にシフトされる。結果として、ビデオメモリの64K バイトから 256K バイト全体に対して、ホストのマイクロプロセッサが常時アクセスできるとは限らなくなり、画面メモリに直接書き込むた

めには、プログラマ側に努力が要求されることになった。一方で、この代替案も支持できない。つまり、256Kバイト全体のアドレス範囲をフレームバッファに使い切ると、上位の DOS メモリがほかの用途 (EMS などで、これも偶然であるがバンク切り換えシステムである) にはほとんど残らなくなる。このアドレス拡張による解決は、XGAが導入されるまで、ほかのすべてのディスプレイシステムにとって主流になっていた。

EGA のインターフェイス

EGA は、MDA および CGA が採用していたデジタル信号形式を踏襲していた。追加のカラー機能に対応するために、CGA での結線方法から、一部の接続を変更し、2 つの接続を追加している。各カラー電子銃には2 信号、つまり CGA 上で使用されていた個別のドライブ信号および個別の輝度信号が与えられた。3 つの電子銃すべてを1 つの輝度信号によって制御せずに、各電子銃は独立して高輝度にすることができた。各電子銃に供給される2 ビットのデジタルコードによって、高輝度オフ、高輝度オン、2 つの中間輝度の4 輝度が可能になった。1 つの電子銃あたり 4 レベル×3 つの電子銃の組み合わせによって、各種の組み合わせの中から64 色を発色することができる。

すべての IBM モニタとの互換性を維持するために、EGA はそれまでのビデオアダプタと同じコネクタ、つまり9ピン、メス型 Dsubコネクタを採用した。その信号ピンの定義は、ボードに接続されるモニタのタイプに基づいて、セットアップ DIP スイッチによって制御された。完全な互換性を図るために、モノクロおよび CGA 互換のカラー方式は、MDA および CGA の規格と正確に対応している。EGA ディスプレイに関していえば、CGA 輝度ピンは、緑色の電子銃に対する輝度信号に使用されていた。追加の輝度信号が、赤および青の電子銃に追加されている。ピン配列に関しては、図 13-5 を参照のこと。

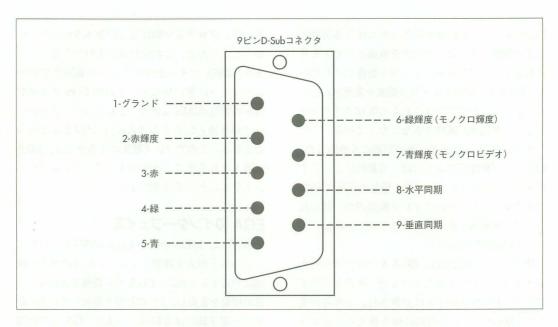


図 13-5 EGA のピン配列

EGAモニタの互換性

EGA アダプタは、接続するディスプレイのタイプを判断できないため、ユーザーが、使用するディスプレイに適合するように正しく設定しなければならない。そうしないと、モニタの損傷を招くおそれがある。モノクロ型の IBM パーソナルコンピュータに長時間誤った同期信号を供給すると、モニタを永久的に損傷する可能性がある。ディスプレイアダプタとモニタが一致していないと、多くの薄い横線が交差する、画面が空白または判読できない、モニタ内部から高周波の雑音がするなどの兆候が現れる。ディスプレイシステムに接続した時点で、この種の徴候が現れた場合には、ただちにパーソナルコンピュータの電源を切って、モニタおよびディスプレイアダプタの互換性をもう一度チェックする必要がある。

一方、EGA以前に導入されたIBMのカラー/ モノクロ型ディスプレイに関しては、事態は深刻である。幸い、IBMの拡張カラーディスプレイは、 接続先がEGAディスプレイかCGAディスプレ イかを判別して、自動的に調節され、正しい同期 周波数に対応することができる。ただし、信号の 周波数を判断するのではなく、EGAディスプレイ は水平同期信号の極性を調べる。水平同期が正である場合には、モニタは15.575kHzの同期周波数で動作する。一方、水平同期が負である場合には、ディスプレイは23.1kHzに切り替わる。

EGAとほかのディスプレイアダプタの 互換性

IBM のやりかたでは、システムに1台のモノクロディスプレイ、1台のカラーディスプレイ、または各タイプのディスプレイの1台ずつ接続できるが、同じタイプのものを複数接続することはできない。たとえば、コンピュータに1つの CGA と1つの MDA の合計2台は追加できるが、2つのCGA を同時に使用することはできないわけだ。これは、両方の CGA が自分のメモリを同じアドレスに確保しようとするためである。一方で、モノクロシステムとカラーシステムは、別々のメモリアドレスを使用している。

EGA もこの基本思想を踏襲している。カラーディスプレイを操作するように EGA をセットアップすると、MDA ボードと共存できる。EGA をモノクロアダプタとしてセットアップすると、CGA をシステムに追加することもできる。ただし、た

とえ一方をモノクロとし他方をカラーとしてセットアップしても、2つの EGA を追加することはできない。これらの BIOS コードおよびメモリ割り当てが衝突するからである。EGA ボード上のジャンパスイッチを使用するとそのベースアドレスは変更できるが、この代替アドレスは IBM の EGA BIOS コードではサポートされない。

EGA のアドレス指定

互換モードを持つ EGA は、セットアップの仕 方によって、MDA か CGA であるかのようにシ ステムには見える。プログラムには EGA が動作 していることがわからないように、そのメモリに 割り当てられたロケーションに一致するように、 装置フラグの設定さえ行う。ビデオメモリを直接 アドレス指定する単純なアセンブリ(または高水 準)言語のプログラムは、互換モードで実行する という条件付きで、EGAで正しく動作する。

ただし、EGA で追加されたグラフィックスモードでは、ページレジスタをトグルしない場合には、なぜか、4ページ中の1ページしかアドレス指定できないことに驚かされる。幸い、EGA BIOS および大半のアプリケーションは、この処理を自動的に行ってくれる。

13.5 ビデオグラフィックスアレイ(VGA)

ディスプレイをパーソナルコンピュータのオプションにするという本来のIBMの方針には、論理的な根拠と非論理的な根拠があった。一部のビデオシステムが特定のアプリケーションによく適している点で、その方針には意味があった。分離型ディスプレイアダプタのおかげで、複数のビデオシステムをいろいろと組み合わせて使用することができた。また、これによって、サードパーティからのアドオンビデオ製品に巨大マーケットが創造されると同時に、アップグレードマーケットが育成された。この分離型ディスプレイアダプタは、新しい規格が成長したり、予算に余裕ができた時点では取り外して交換することができる。

ただし、内蔵型ビデオは多くのアプリケーションでは論理的な選択になっている。「PC Portable」(そのディスプレイシステムは、実際にはシステムボードに組み込まれていない)、「ラップトップ Convertible」(本質的に組み込まれている)などの携帯型コンピュータでは、持ち運びが便利になるように、ディスプレイおよびコンピュータシステムの完全な統合が求められる。また、一体型にすることは、思わぬ便宜をもたらす。システムが1つの大きな箱(2つの場合もあり、1つはモニタ用となるが、少なくともすべてが1回の出荷で搬送

される) に入って1台の装置として届くため、これには何の判断も技術上の専門知識も要求されないという利点があるのだ。

さらに、拡張ボード、インターフェイス回路、追加の開発コストなどが不要となるため、内蔵型ビデオのアプローチは経済的になる可能性がある。IBMが「PCjr」などのローエンドマシンを最初に構築しようとしたときに、専用のビデオ回路をシステムボードの一部として組み込んでいる。分離型ディスプレイアダプタの時代でさえも、大半のパーソナルコンピュータは、ディスプレイシステムが実装された形で売れることをIBMは発見している。コストを削減して顧客に望むものを提供するという観点から、IBMは第二世代のパーソナルコンピュータである PS/2 ラインのマザーボードに、基本的なディスプレイアダプタ機能を移している。

内蔵型ビデオの陳腐化を食い止めるために、IBM は新しいマザーボード表示回路を拡張可能となるように設計している。つまり、その設計の一部として、改良されたディスプレイシステムに接続するための仕組みが組み込まれているのである。さらに重要なことは、ボード上の回路がアドオンと協調して動作できるため、一体型でないシステム

よりも、ディスプレイに要するサポートコストを 削減できる可能性があることである。

さらに、IBM は、新しいディスプレイシステムを、モニタオプションを制限しないように設計している。低予算で作業を始めたい顧客はモノクロモニタを、けばけばしい画像を希望する顧客はカラーモニタが採用できるようにしている。ハードウェアを購入する時点で、またはソフトウェアを作成する時点で、カラーおよびモノクロの非互換性についてあれこれ悩むことがないように、このシステムは設計されているのである。

IBM の改善されたディスプレイ戦略の柱は、ビデオグラフィックスアレイ (VGA) で、これはすべてのマイクロチャネル PS/2 に取り入れられ、現在のほとんどすべての互換機に組み込まれている。IBM は、少数の低コストの非マイクロチャネル PS/2 では、メモリコントローラゲートアレイ (MCGA) と呼ばれる VGA 技術のコスト削減バージョンを組み込んで節約している (MCGA はマルチカラーグラフィックスアレイの略語でもある)。しかし、VGA を完全にサポートするコストは、これが規格として受け入れられるに伴い下がったため、MCGA はすたれてしまった。

VGA の名称は、PS/2 ラインの実現に使用されている VLSI チップから来ている。EGA ボード回路の大半 (Motorola の「6845」ビデオチップのエミュレーションなど) は、この1つの論理ゲートアレイチップの中に組み込まれているが、IBM はこれを "ビデオグラフィックスアレイ"と呼んでいたのである。このチップ名が急速にシステム全体の名称へと成長したのは、恐らくこの略語の VGAが、CGA、EGA などの、これより先に使われていた名称に類似していたためであろう。この新しい名称は、それらの論理的な延長線上にあるかのように思われたのである。

実際に、VGA 自体は、IBM のそれまでのビデオ規格の論理的な延長線上にある。それまでのビデオモードを組み入れると同時に、これらを新しい、よりカラフルで、解像度がより高い領域へと拡張している。ただし、VGA は、最善のビデオシステムでも、革命的なシステムでもない。VGA 以前に利用できたサードパーティのビデオシステ

ムでさえ、画像をより鮮明に、よりカラフルに表示することができる。現在では、ほとんどすべての互換機が、VGA機能からスタートして、より高い解像度を実現している Super VGA ディスプレイシステムを組み入れている。IBM でさえも、ハイエンドのハードウェアに対してはより優れたディスプレイシステムを搭載し始めている。ただしこれらでさえ、VGAの設計思想を中核に据えている。つまり、現在では、VGAが新しいパーソナルコンピュータに期待すべき、最低限のディスプレイシステムになっているのだ。また、ほとんどすべてのパーソナルコンピュータは、VGA規格に準拠して作成されているソフトウェアを使用することができる。

VGA のグラフィックス解像度

それまでのIBM製品と同様に、このVGA規格は各種のモードで複数の解像度レベルを組み込んでいる。ただし、VGAはこれまでのいずれよりも多いモード、つまり全体で17のモードを提供している。それまでのIBMビデオシステムとは違って、テキストおよびグラフィックスの各モードで提供される最高の解像度が異なっている。

グラフィックスモードに関していえば、このシステムが生成する最も鮮明度の高いビットマップカラー画像は、256Kバイトのパレットから選択できる16色を同時に発色する一方で、640×480ピクセルの解像度を実現している。同じレベルの解像度は、2色(モノクロ)モードでも利用することができる。

640×480 ピクセルの解像度は、EGA アダプタが提供した640×350 ピクセルと比較すると取るに足らない改善のように見えるが、新規格には長所がある。つまり、鮮明度が顕著な長所である。 VGA 規格は、それまでの規格より鮮明かつカラフルな画像を実現している。

グラフィックスプログラマにとって、水平垂直ピクセルの4対3の関係は、大半のビデオモニタの4対3のアスペクト比を反映していて朗報である。結果は正方形のピクセルであり、すべてのドットが画面上の画像では正方形のモザイクタイルになる。これによって、プログラマは、長方形のピク

セルおよびおかしな形状の図に配慮するために、 余分なステップを踏む必要がなくなる。

VGA のテキスト解像度

VGA 規格のテキスト解像度は、グラフィックスモードで利用できるものより鮮明になっている。仕様は、16 種類の色(モノクロではグレーの階調)で、720×400ピクセルを要求している。このモードのキャラクタは、これまでのどれよりも細部が細かく、画面ドットの9×16マトリックスから構成されている。これは MDA より 2 ドット、EGAより 1 ドット上回っている。

VGA 規格はディスプレイとしてテレビを使用することを廃止したが、不思議なことに、40 桁モードが生き残っている。この先祖返りのモードを支えている理由は、古いソフトウェアとの互換性である。40 桁ディスプレイ用に作成されたプログラムは、すべてのそれまでのディスプレイ規格と同様に、VGA 規格でも動作する。さらに、新しい40 桁モードが、360×400 ピクセルの16 色テキストモードで利用することができる。

ほかの2つのテキストモードは、最高解像度を維持し、システムの動作周波数にわずかな変更を加えることによって、画面上に一般的な25行ではなく、30行のテキスト表示を実現している。

VGAカラー

ピクセル数が多くなると、解像度が上がることを意味する一方で、ほかの VGA モードもまた、より大きいカラー表示機能を与えることによって、それまでの規格を改良している。 VGA システム上で利用できる広い色彩によって、コンピュータが作り出す画像はよりリアルになった。

VGA 規格は、最大 256 色の同時表示をサポートしている。これらの色は、全体で 262,144 個のパレットから選択することができる。発色可能な色は、カラールックアップテーブル (CLUT) によるマッピングのおかげで、どのパレットからでも選択可能だ。このモードでは、解像度は 320×200ピクセルに限定される。これは、16 のパレットから 4 つの同時色だけを認めた CGA の中間解像度カラーモードと同等である。発色可能な色数は、

VGA メモリの限界、つまりビデオメモリのピクセルロケーションに格納できる個々のビット数に対する限界によって制限される。メモリ容量がより大きいボードは、256 色モードをより高い解像度に発展させることができるというわけだ。

VGA の信号

この広いカラーパレットの実現には、IBM ディスプレイ技術に大幅な変更が必要だった。それまでの IBM システムがデジタル信号を使用したのに対して、この VGA システムはアナログを基に構築されている。それまでは、主流のパーソナルコンピュータ製品になるとはけっして意図されていなかった IBM の「プロフェッショナルグラフィックスコントローラ (PGA)」だけが、パーソナルコンピュータ環境でアナログ信号を使用していた。

アナログに切り換えた1つの理由は、単純な計 算の結果だった。デジタルシステムが表示しなけ ればならない色が増えると、より多くの制御信号 が必要になる(もちろん、システムがディスプレ イおよびアダプタの両方を、異常までに複雑にす るシリアルデータを使用しない場合である)。必 要な信号数は、幾何級数的に増加する。たとえば、 CGA の 16 色パレット (つまり 2 の 4 乗の色数) に は、4つの個別の信号(赤、緑、青、および輝度)が 必要である。EGAの64色パレット(つまり2の 6乗の色数)は、6個の信号を基本にして構築され た。VGA システムの 262,144 色 (2 の 18 乗) をサ ポートするためには、まったくデジタルだけのシ ステムなら 18 個の信号が必要である。つまり、1 原色あたり6つの信号が必要となるのである。こ れらの信号およびこれを搬送する配線の複雑性を 避けて、VGA 規格は、3本の配線の電圧レベルの 変化を利用している。1本の配線上の1つの信号 が、各原色に割り当てられている。それぞれの信 号は、CRT の電子銃の1つに対応している。ま た、信号の強度がビームの輝度を制御する。

このアナログ方式はケーブルの節約にとどまらない。モニタ回路を大幅に単純化できるのである。デジタルシステムであっても、電子ビームを流れる電力は、表示の時点でデジタルからアナログ形式に変換しなければならない。VGA 規格は、変

換器をモニタでなくビデオカードに実装しただけ であるともいえる。

メモリに格納されているデジタルデータをアナログ信号に変換してモニタに表示するために、IBM は、「Inmos 6171S」と呼ばれるワンチップDACを使用することにした。CGA および MDAの 6845 と同様に、このチップは VGA 互換ディスプレイアダプタでは一般的になっている。これは、カードメーカーが IBM の設計思想と最大限の互換性を確保しようとしたためである。Inmos DACは、実際は3つのDACが1つになったもので、それぞれが各原色に対応している。さらに、DACにはカラーマッピングプロセスのためのカラールックアップテーブルが取り入れられている。このルックアップテーブルの値は、DAC チップ内部の256個のレジスタに格納されている。

VGA の周波数

それまでの IBM のビデオ規格と同様に、VGA をフルに活用するためには、それまでの IBM システムが使用していたものより大幅に高い同期周波数で動作する、まったく新しいタイプのモニタが必要である。

解像度が高くなれば走査線も多くなるため、個々の走査線を高速で表示しなければならない。VGA 規格では、31.5kHz の水平周波数が必要である。これはCGA 規格に要求される約15kHz の2 倍、またEGA 規格が要求している23.1kHz の50%も高い周波数である。

画像の安定性を増すために、VGAシステムの垂直リフレッシュまたはフレーム周波数も、それまでのIBM 規格を上回っている。VGAのフレーム周波数は、ほとんどの表示モードで70Hzであるが、高解像度のVGAグラフィックスモードは、画面により多くのデータを押し込むために60Hzで動作している。フレーム周波数が速くなる結果として、フリッカがテキストモードで見られなくなるはずである。残光時間の短い蛍光体が使用できるため、IBMのモノクロ画面に固有の画像遅延、長引くゴーストなども少なくすることができる。

VGA のメモリ

16 色で 640×480 のグラフィックスを格納するためには、6 つのドットプレーンが必要となり、およそ 230K バイトという膨大なメモリが必要になる。PS/2 システムのボードに組み込まれているVGA システムには、230K バイト以上のメモリ単位として最小の 256K バイトが搭載されている。VGA 互換製品の中には、ビデオメモリをさらに大幅に拡張して、1M バイトにも達しているものも見られる。EGA の場合と同様に、VGA 回路でもこのメモリをいくつかの方法でマッピングできる。MDA および CGA アダプタと互換性をとるためには 0B0000h または 0B8000h のベースアドレスで、EGA および VGA グラフィックスと互換にするためには 0A0000h のベースアドレスでマッピングする。

シーケンサレジスタポート 03C4h にあるインデックスが、"02"に設定されると、この 256K バイトは、64K バイトの 4 つのバンクに分割されて、03C5h にあるマップマスクレジスタによって制御される。このレジスタは、システムのマイクロプロセッサが1つ以上のバンクに書き込めるかどうかを制御するものである。

VGA モードにおける各バンク内部のアドレス 指定方式は、"リニア"になっている。つまり、画 面上のピクセルおよび行は、画面上の表示順序と 同じ順序でメモリに格納されているのである。

VGA の互換性

VGAシステムは、それまでの規格ときわめて優れたソフトウェアの互換性を持っており、ハードウェアの互換性はきわめて小さい点を特徴にしている。VGAシステムは高い同期周波数とアナログ信号を使用しているため、まったく新しいタイプのモニタが必要である。旧式のディスプレイは1つの例外を除いて、VGA規格には適合しない。多くの(すべてではない)マルチスキャンディスプレイ(次章参照)には、同期周波数およびアナログ入力に十分な許容度があるため、それまでのビデオ規格、VGA、およびさらに解像度が高い規格が生成する信号を受け付けることができるが、アナログ入力のマルチシンクディスプレイがない

場合には、VGAを使用するには新しいモニタが必要となる。一方のソフトウェアにはまったく問題がない。IBMは、VGAシステムに対して、それまでのビデオ規格用に作成されたソフトウェアとのほぼ完璧な互換性を提供している。VGAシステムは、最下位の解像度レベルに至るまで、すべての過去のIBMビデオモードをサポートしている。ただし、フォームおよびフォーマットが最初のものと多少異なる場合がある。たとえば、旧式の200行のビデオモード(320×200や640×200のグラフィックス)では、ディスプレイは400行の速度でダブルスキャンされるため、画像は鮮明に表示されるが、200行のディスプレイ同様にずんぐりした表示になる。

BIOS 互換とレジスタ互換

ビデオアダプタのソフトウェアの互換性には2 種類ある。その1つの BIOS 互換とは、あるボード を模倣したボードが、そのボード上のファームウェ アに対するソフトウェアコマンドを受け取ったと き、コピー元のオリジナルのボードと同じ応答を するということである。このときビデオ BIOS は、 ディスプレイアダプタ上のレジスタに適当な値を 書き込むという退屈な作業を行う。この作業によっ て、ビデオ BIOS はソフトウェアをビデオハード ウェアから切り離す。EGA 以降のビデオボードは すべて、インストール時に自分の BIOS コードを ホストシステムに追加する。そして、追加分を含 めた BIOS がソフトウェアコマンドをハードウェ アに適合させる責任を負うのである。このレベル の互換性で、あるビデオアダプタのコードが別の ビデオアダプタのコードと、少なくとも BIOS に 送信されるコマンドのレベルでは同等に動作する ことが保証される。

IBMの意向は、BIOSレベルの互換性で十分であるということだったが、プログラマがIBMの規定した規則を尊重しないことがある。高い性能を実現するために、プログラマはビデオハードウェアを直接制御するソフトウェアを作成することがあるのだ。この種のプログラムは、ビデオメモリに直接書き込みを行うと同時に、ビデオシステムの機能を制御するレジスタに値を書き込むことさ

え行っている。このレベルで書かれたプログラムが正しく機能するためには、ビデオボードのレジスタはすべて、オリジナルのプロトタイプボードのレジスタとまったく同等に動作しなければならない。それが完全である場合をレジスタレベル互換といい、あるビデオボードに対して作成されたプログラムすべてが互換ボード上で動作するということが保証される。

IBMのVGAシステムは、EGAボードとの間ではレジスタレベルの互換性を、CGAおよびMDAボードとの間ではBIOSレベルの互換性を持っている。サードパーティベンダーの製品に要求される互換性はこれですべてである。この種の製品がEGAまたはVGAとの間でレジスタレベルの互換性を欠く場合には、製品がクラッシュしたりまったく動かないなどの問題に直面することになる。サードパーティメーカーが作った初期のVGA互換のディスプレイアダプタは、VGA規格とのハードウェアの互換性の点でしばしば問題を起こしていたが、最新のボードは問題なくこれをクリアしている。現在のVGA互換のディスプレイアダプタは、どんなVGAソフトウェアとも良好に動作している。

VGA 補助ビデオコネクタ

PCバスコンピュータ用の VGA ボードを提供しているサードパーティメーカーにとって、VGA 規格との完全な互換性を持つためには、レジスタレベル互換のほかにさらにもう1つの互換性が必要である。つまり、VGA 補助ビデオコネクタと呼ばれる、IBM のマイクロチャネル拡張バスに対する拡張部分の複製が必要なのである。多くの VGA 互換ボードでは、このコネクタは VGA フィーチャコネクタと呼ばれている。この特殊な接続によって、アドオンアクセサリは、VGA 回路と信号および制御を共用することができようになる。アドオンアクセサリは VGA をオフにし、ビデオ出力を自分の出力とすることさえできる。

このエッジコネクタは、通常はほとんどの VGA 互換ディスプレイアダプタに付いている。パーソナルコンピュータに高解像度の補助ディスプレイシステム(8514/A 互換ボードなど)を追加する場

合には、このコネクタが必要になる。実際、このコネクタのないディスプレイアダプタは、VGAハードウェア互換とは呼べない。

この設計から派生してできたのが VESA フィーチャコネクタである。 VESA コネクタは VGA フィーチャコネクタと同じ信号が含まれているが、 VGA のエッジコネクタではなくピンコネクタを採用している。このため、 VGA フィーチャコネクタを前提に作られた製品は、 VESA フィーチャコネクタに接続することはできない (この反対もやはり不可)。2 つの規格は、それぞれ専用の接続ケーブルが必要である。補助ビデオボードをパーソナルコンピュータの VGA ボードに接続する必要がある場合には、どちらのタイプの拡張コネクタを使用しているか確認する必要がある。

VGA のカラー/モノクロ統合

それまでのIBMのビデオ規格は、モノクロとカラーの間に一線を画していたが、VGAは両方に対応するように設計されている。これは2つを1つの製品に統合するというIBMの漸進主義の傑作である。MDAおよびCGAは独立型のシステムとはまったく互換性がない。EGAはモノクロとカラーどちらでも機能するが、DIPスイッチが適切にセットされていなければならない。間違ってセットされていると、ディスプレイを損傷する危険がある。VGA規格では、損傷の危険もなく、さらに適切な動作が保証された形で、1つの信号をモノクロまたはカラーのVGAディスプレイに接続することができる。

この秘密は、VGA インターフェイスに追加されている特殊な信号にある。この信号はディスプレイからのフィードバックで、VGA 回路に接続先がカラーディスプレイかモノクロディスプレイかを教えるものである。VGA モニタは、カラーかモノクロのどちらか適切な信号を送るように設計されている。

VGAモノクロ動作

VGA 回路は、モノクロディスプレイを検知すると、各カラーの電子銃に対して個別の3つの信号を送出する代わりに、ディスプレイが輝度の制

御に使用する緑信号だけを送出する。もちろん、 VGAシステムのカラーレパートリーは、この動作によって制限されるわけだが、VGAは、この色を最大64段階のグレー階調に変換することによって補償する。緑信号はDACの6ビットの緑チャネルによって上限が決められる、26の段階の輝度を処理することができるわけだ。

VGA の垂直利得

VGA システムは、350 本(MDA および EGA 互 換モード)、400 本 (ダブルスキャンの CGA モード) および 480 本 (新しい VGA モード)の 3 種類のライン数を持つディスプレイを表示させることができる。ほかの点がすべて等しければ、行数の少ないディスプレイは、行幅は一定のままで(視点の位置によっては幅が大きくなる)全体の高さが短くなる。このため、EGA スタイルの表示は画面上では 25%以上も短く、全体を押しつぶしたような感じに見える。

IBM ディスプレイは、VGA から受信した信号のモードに基づいて垂直方向の利得(振幅)を変更することによって、この高さの違いを調整している。この信号だけからビデオモードを判別しなければならない責任からディスプレイを解放するために、VGA はディスプレイに対して、各フレームで送信している垂直線の数を示すコードを送信している。このコードは、垂直および水平の同期信号の極性に含まれている。

このコードは、480 行の動作の場合には両同期信号が同時に負になるように決まっている。400 行の動作の場合には、垂直同期信号は負に水平同期信号は正になり(400 行モードが模倣している CGA ディスプレイの場合と同じ)、350 行の動作の場合には、垂直同期は正に、水平同期は負になる。残りの組み合わせ、つまり両同期信号とも正になる組み合わせは予備になっている。

IBMは、行数が異なると各水平線の表示に費やされる時間が異なるという状況に対処するために、2つの方法を提供している。2つのドットクロック(オシレータ)を、それぞれ350行モードおよび400行モードに利用することができるようになっているのだ。480行のグラフィックスは、通常の

VGAの70Hzのフレーム周波数を、60Hzへとわずかに下げて、より多くの行を表示できるように時間の余裕を持たせている。

VGAコネクタ

VGA が生成する信号が、それまでの IBM のディスプレイシステムが生成する信号とまったく違うために、IBM は、間違ったモニタが接続されて有害な結果が生じることのないように、異なる非互換のコネクタを使用することにした。 VGA シ

ステムが実際に必要とするのは 9 つの端子だけだが (IBM が指定するように 3 つのビデオ信号のそれぞれに専用の接地リターンを提供する場合には 11 個)、新しいコネクタは 15 本のピンを持っている。 9 ピン Dsub コネクタとサイズおよび形状は ほとんど変わらないが、 IBM が採用するまでは、このいわゆる高密度、15 ピンコネクタは、一般に は入手することができなかった。

図 13-6 に、このコネクタに対する信号の割り 当てを示す。

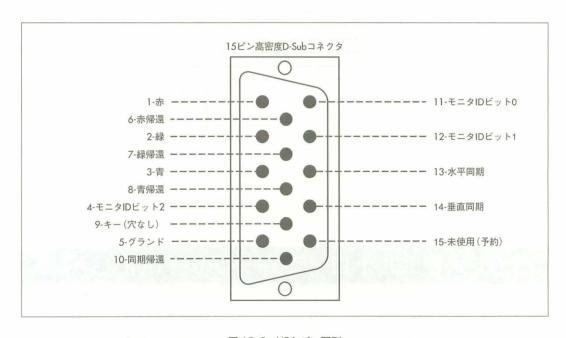


図 13-6 VGA ピン配列

このコネクタは、現在、IBM のすべての PS/2 ディスプレイシステムと、ほとんどの互換機メーカーにも採用されているため、入手が容易になってきている。

オス型、インライン (ケーブル) コネクタ クリンプタイプ設置 AMP 部品番号 「748364-1」

メス型、インライン (ケーブル) コネクタ クリンプタイプ設置 AMP 部品番号 「748565-1」

AMP Inc. Harrisburg, PA 800-624-2177

「71325」シリーズコネクタ

Molex Incorporated 2222 Wellington Court Lisle, IL 60532 312 - 969 - 4550

多数のマルチシンクディスプレイは、VGA 信号で動作するが、そのようなディスプレイの多くは、EGA 規格と互換性のある 9 ピンコネクタを使

用している。これらのディスプレイを IBM 規格 の VGA 接続に接続するためには、アダプタケーブルが必要になる。このタイプのケーブルの配線 を図 13-7 に示す。

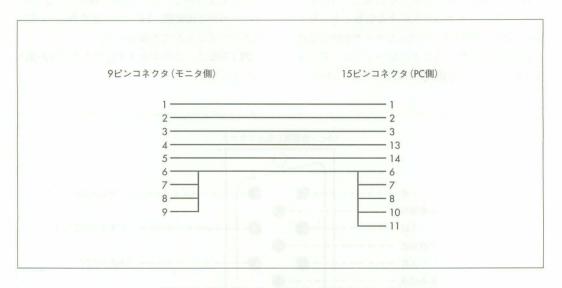


図 13-7 VGA 用 9 ピン/15 ピンアダプタケーブル

13.6 メモリコントローラゲートアレイ(MCGA)

モデル 25 や 30 などの PS/2 の下位マシンは、IBM に多くの問題点を投げかけた。その1つがビデオである。このマシンは低コストにこだわって設計されており、実際 IBM はモデル 25 のメモリ割り当てを、最大 640K バイトの DOS の容量を512K バイトにして節約しているほどである。これに対し、256K バイトの RAM が必要な VGA グラフィックスを組み込むことは、コスト削減の目標には反することになる。しかし、別のモニタ規格の採用、または前の規格への後退は、VGA を次期規格として育てるという方針にも悪影響を与えてしまう。

メモリの3/4を占める多くの機能を切り離す一方、ある程度の VGA ハードウェア互換性を持た

せるために妥協を重ねた結果、ビデオ機能が中途 半端になり、それまでの規格よりは良いとはいえ VGAには及ばないものとなった。その特徴は過 去のIBM 規格の混在である。レジスタの構成は EGAと同様だが、ビデオモードは MDA および CGA から引き継ぎ、ハードウェアと2つのモー ドを持っているところは VGA に似ている。ほか によい名前もなかったため、このシステムはメモ リコントローラゲートアレイ (MCGA) と呼ばれて いる。

MCGA のテキストモード

CGA と同様に、MCGA システムには 2 種類の テキストモードがある。1 つは 40 桁キャラクタ、も う1つは80桁キャラクタである。テキスト解像度は、VGAハードウェア規格に対応して640×400ピクセルまで引き上げられており、CGAより優れている。キャラクタは、すべてのドットがアドレス指定される8×16のドットボックスの中で形成される。また MCGA 回路は、VGA と同様に DACチップを使用しているため、256K 色の VGA のフルパレットの中から合計16色を同時に画面に表示することができる。

ただし、ソフトウェアには、MCGAのテキストは CGAのテキストのように見える。CGAと同様に、ビデオバッファに対して 0B8000hのベースアドレスが割り当てられているためである。

MCGA のグラフィックスモード

MCGA システムには、2 種類の CGA 規格互換 モードと2種類の VGA 規格互換モードの合計 4 種類のグラフィックスモードがある。

CGA 互換モードでは、中/高解像度の CGA グラフィックスが可能である。320×200ドットおよび 640×200ドットの両モードでは、VGA 機器との互換性を確保するために、ダブルスキャンを行って 400 行画面を生成している。ただし、ほかのシステムと同様に、ダブルスキャンによって画像の鮮明度が増すことはない。

中間解像度の CGA 互換モードでは、4 色が同時に表示でき、それらは 256K 色の VGA カラーパレットから選ぶことができる。 CGA とまったく同様に、代替パレットも (同じレジスによって) 選択でき、この代替パレットには、VGA の全レパートリから生成される選択色を登録することができる。 高解像度の CGA モードでは、フォアグラウンドカラーおよびバックグラウンドカラー(この2種類だけが可能)を、256K 色の VGA のフルパレットから生成することができる。

VGA 互換の高解像度グラフィックスモードは、MCGA システムのメモリ削減の悪影響を多く受けている。利用可能なメモリが 64K バイトに制限されているため、640×480 解像度レベルの色選択が必然的にその犠牲になって、結局1つのカラープレーンしかサポートされていない。システムのカラーマッピング機能によって、フォアグラウン

ドカラーおよびバックグラウンドカラーの両方が 256Kバイトのパレットから選択できるが、それ だけにすぎない。

VGA の 320×200 ドット 256 色モードについては、MCGA システムは、256K 色の VGA パレットからのフルカラーマッピング含め、完全にサポートしている。

MCGA のソフトウェア互換性

MCGAシステムが提供しているBIOSサポートは、CGAシステムが提供しているレベルと同じで、取るに足らないものである。BIOSでは、文字列をテレタイプモードで画面に表示する程度のことしかできない。MCGAは、両方のCGAグラフィックスモードをサポートしているため、IBM 規格に沿ったソフトウェアすべてと互換性がある。

MCGA システムのレジスタ構造は、VGA システムときわめて似ていて、2種類の VGA グラフィックスモードをサポートしている。ただし、MCGA 回路で許されるモード数は少ないため、相違が生じている。

MCGA のハードウェア互換性

ハードウェアの面から見ると、MCGAシステムは、VGAスタイルのディスプレイとVGAコネクタを採用している。このシステムは、カラーディスプレイかを検知して、出力をそれに応じて再設定することができる。また、同じ同期信号の極性コードを使用して、動作モードが400行モードか480行モードかを通知している。したがって、MCGAシステムは、IBMのPS/2ディスプレイ、VGA互換ディスプレイ、VGA互換マルチシンクディスプレイなど、VGAシステムの場合と同じモニタを使用することができる。

MCGAをVGAにアップグレードする

モデル 25 および 30 の設計では、拡張ボードを 追加すると、いずれのシステムも完全な VGA グ ラフィックスにアップグレードすることができる。 VGA アダプタをモデル 25 か 30 にインストール すると、システムボードのビデオ回路が自動的に 機能を停止し、この拡張ボードがコンピュータの 唯一のビデオ出力になる。システムボードのビデ オ接続が停止されるため、ディスプレイは VGA アダプタボードのコネクタ部に接続しなければな らない。IBM の PS/2 ディスプレイアダプタまたはサードパーティの同等アダプタは、モデル 25または 30 のいずれにとっても適当なアップグレードになる。

13.7 Super VGA

IBMは、VGAはパーソナルコンピュータのディスプレイシステムの最終ラインのように考えていたため、VGA設計に対して大幅な改良や変更は行っていない。実際今日まで、VGAは大多数のIBMパーソナルコンピュータで標準ディスプレイシステムになっている。4年後に、IBMは標準機器として改良点を追加する計画を立てたが、これもIBMの製品ラインの最上位に位置する機種に限定されていた。

現実に、標準機器としてのVGAに対する批判はほとんど聞かれない。解像度が高いほうが確実に表示はよくなるが、VGAからの劇的な飛躍は、大半のパーソナルコンピュータに接続している小型モニタの世界では見られることはないだろう。これ以上解像度を高めても、通常の作業距離ではその細部を目で見ることはできないからだ。VGAの解像度は、通常の画面サイズ、通常の視力、通常の距離、そしてこれまでのソフトウェアに対しては十分である。

しかしながら、グラフィックス操作環境、特にマルチタスク機能(OS/2 など)や擬似マルチタスク機能(Windows など)を使用する環境は、ディスプレイシステムに対する要求が大幅に増加して

いる。複数のウィンドウを画面に設定すると、それぞれのウィンドウで何が進行しているかを知るために、より多くのデータが必要となり、自然な帰結として、可能な限り多くの情報を画面に圧縮して表示したくなる。これに対し、解像度が高くなれば、より多くの情報を画面に表示することができる。さらに、大型画面が入手可能かつ一般的になるに従って、より細かい画像も見えるようになり、より高い解像度が求められるようになってきた。

VGA が初めて登場した時点ですでに、多くの企業はその 640×480 のグラフィックス解像度を乗り越えようとし始めた。これによって自社の製品にさらなる特長を持たせようとしたのがその動機である。最終的には、より高い解像度モードを追加するにあたって、メモリの追加が必要になることはなかった。設計者は高解像度モードで利用できる色を、16 色から 4 色へと節約したからである。チップセットメーカーは、特別な高解像度モードを自社製品に追加し、ディスプレイアダプタメーカーもこれに追随した。

表 13-3 は、各種の解像度に必要なビデオメモリのビット数をまとめたものである。

表 13-3 ビデオメモリに必要なビット数

解像度	ピクセル	16 色 (4 ビット)	256 色 (8 ビット)	1,670 万色 (24 ビット)
VGA (640×480)	307,200	153,600	307,200	921,600
Super VGA (800×600)	480,000	240,000	480,000	1,440,000
" (1,024×768)	786,432	393,216	786,432	2,359,296
" (1,280×1,024)	1,310,720	655,360	1,310,720	3,932,160

EGA Plus

VGAから発展したディスプレイの中で、最も一般的になったのが800×600ピクセルの解像度のものである。初期の製品は完全なVGA互換ではなかったため(デジタル信号を使用するものすらあった)、初めはEGA Plus と呼ばれていたが、まもなく、本格的なVGA 互換製品の出現と共に、この解像度はSuper VGAと呼ばれるようになった。Super VGAは、より多くのピクセルを画面に表示することによって、VGAより少なくとも50%優れた画像を実現した。ただし、Super VGAは標準化の点では今一つであった。これは、それぞれのディスプレイアダプタメーカーが、高解像度を画面に実現する手法に関して別々のアイデアを競っていたためである。

マルチスキャンモニタは800×600ピクセル以上の解像度を表示できたが、問題がなかったわけではない。規格が異なり、信号のタイミングが異

なるために、画像が画面のおかしな位置、つまり 過度に画面の左側、右側、上部または下部にずれ る傾向があった。走査速度、リフレッシュレート にさえ規格がなかったため、あるマルチスキャン モニタが特定の Super VGA ボードと動作すると いう保証はなかった。

この状況によっていくつかのことが明らかになった。まず、規格がないとモニタが悪者にされるということである。目に見える問題、つまり画像の配置ミスなどはモニタ画面に現れるため、モニタメーカーが非難の的になったのである。そして、IBMを除いては、いずれの企業にも新しい規格を確立できるほどの市場支配力はないということだ。しかも、当の IBM は、まったく広まらない自社の高解像度規格(8514/A)を擁護することに精一杯で、この責任を放棄していた。Super VGA の解決には、単一の規格が必要だったのである。

13.8 **VESA**

このような状況の中で、Super VGA の問題 に対する最初の解決策はモニタメーカーで実施 された。ベストセラーのマルチスキャンモニタ (「MultiSync」シリーズ)を発売していた NEC Technologies 社のあるエンジニアが、1987年、 キッチンで皿を洗っているときに、1つのアイデア を思い付いた。パーソナルコンピュータのディス プレイシステムに関与しているすべてのメーカー が一同に会して、自社の規格を持ち寄る業界会議 の開催を考えたのである。1988年、NEC は主要 モニタメーカーの多くを招集して、タイミング規 格を打ち出し、画像のずれの問題を解決しようと した。この結果が、Video Electronics Standards Association (VESA) の設立である。これ以降、ほ とんどすべてのディスプレイアダプタメーカー、 モニタメーカー、主要なコンピュータメーカーが、 この組織に加盟することとなった。

VESA は、Super VGA 信号に対するハードウェ

ア規格を設定するという当初の活動範囲を超えて、ソフトウェア規格も設定することになった。ただし、競合メーカーからなる委員会は大抵そうであるように、VESAにも内紛があった。VESAは、IBMがそれまでのディスプレイ規格に対して設定したような厳格な形では仕様を設定せずに、いかなるメーカーも平等に存在できるように、規格とガイドラインから成る組み合わせを設定した。

800×600の解像度

VESA 委員会は、画面のフリッカを最小限にするために72Hzという高いリフレッシュレートの必要性に主眼をおいて、Super VGAに関する規格を設定している。しかし同時に、この種の高い速度で動作できない会員企業の製品にも配慮して、もう1つの"メーカーのガイドライン"も設定している。これらの会員企業は、VESA 規格の発布前に開発した古い製品の在庫を抱えていたのである。

このガイドラインによって、56 および 60Hz で動作する Super VGA システムでさも、VESA から認可を受けることができた。

確かに、このガイドラインにはほかにも根拠があった。56Hz というガイドラインは、IBM が自社の8514/A に対して設定した35.5kHz 水平同期周波数を処理する帯域幅を有する旧型モニタと矛盾していない。また、60Hz のガイドラインは、合理的なリフレッシュレートを備えた低コストの電子部品の使用を可能にする妥協案になっている。しかし一方で、このように柔軟なガイドラインでは、一定のモニタが高いリフレッシュレートの Super VGA ディスプレイアダプタで動作することが保証されないことになる。ただし、モニタが Super VGA ディスプレイアダプタの VESAリフレッシュレートに対応していれば、このガイドラインによって画像が画面中央に表示されることが保証された。

Super VGA ディスプレイアダプタに見られたメーカー間の相違点は、信号タイミングだけではなかった。それぞれが、その高解像度動作を制御する方法、つまり独自の表示モードを持っていたのである。この相違はソフトウェアの問題になる。十数種類もあるボードに対して、個別のドライバを作成しようとはするソフトウェアメーカーはほとんどなかったため、ボードをソフトウェアにリンクするドライバを、各ディスプレイアダプタに対して個別に作成しなければならなかった。

VESA の解決策は、すべてのディスプレイアダ

プタが共用できる "幻の"表示モード、"6A 番"だった。ソフトウェアが Super VGA アダプタにこのモードで動作するように要求した場合、ディスプレイアダプタは固有の 800×600 ピクセルのモードに切り換えて、このモードで矛盾せずに動作するようにトリガする。Super VGA ドライバは、VESA ディスプレイアダプタにとってまだ万能ではないが、最終的には規格のこの側面の恩恵にあずかることになる可能性がある。

1,024×768 の解像度

Super VGA の 800×600 ピクセルの次に重要な解像度が、 $1,024 \times 768$ ピクセルである。VESA は、この解像度レベルにも手を広げ、多数の規格を設定している。

800×600 ピクセルにおけるガイドラインおよび 規格と同様に、VESA は、ダムフレームバッファ システムでの使用を目的として、1,024×768 解像 度レベルに関する推奨タイミングを公表している。 この規格は、最高のリフレッシュレート (72Hz)で Super VGA と同じ水平同期周波数を使用することを前提としている。VESA は、Super VGA を超えるより高い解像度レベルに対応する仕様の設定の必要性を感じ、IBM の8514/A (IBM は規格も製品自体もずっと前に断念している) および XGA システムに基づいた独立した規格を検討している。そしてこのために、ビデオベンダー各社の技術者間で意見交換を行うフォーラムの開催も行っている。

13.9 8514/A

1987 年、IBM は、VGA を超える解像度は、特殊なアプリケーションによってのみ要求されると見ていた。大多数のパーソナルコンピュータユーザーは、640×480 ピクセルの配列から生成されるグラフィックス以上のものを求めていなかった。これを超えるグラフィックスを希望するユーザーに対しては、IBM は、固定機能式のアクセラレータ

回路を実装した高価な (最初は 1,000 ドル程度) な 専用ディスプレイアダプタを提供した。このアダ プタは、IBM の「8514 モニタ」に適合するアダプ タだったことから「8514/A」と呼ばれた。

価格以外にも、この 8514/A には 3 つの欠点が あった。1 つは、IBM はこの製品をマイクロチャ ネルコンピュータでしか使用できないようにした 点である。さらに、アダプタの出力はインタレース方式ビデオ信号であったため、パーソナルコンピュータ業界の大部分、特に、不可避的に生じる画像フリッカインタレースを排除するために必要な、長残光の蛍光体を使用していないモニタメーカーからは、標準規格とするには不十分なものとして見られた。ほかのディスプレイシステムと違って、IBM は8514/Aを動作させる回路を公開しなかったため、このシステムを模倣することはきわめて困難だった。

それにもかかわらず、8514/A 規格は、IBM の 高解像度パーソナルコンピュータディスプレイシステムとして、3年間あまりも生き延びた。そして、クローンメーカーが互換製品を開発していた真っ最中に、当の IBM は新しい XGA システムを支持して、8514/A は、XGA システムの一部として採用されている。

8514/A 規格の最も重要な特性は、1,024×768 ピクセルという解像度だった。これにより、VGA と比較して 2.5 倍のデータを画面に表示することができる。VGA システムと同じ DAC を採用しているため、潜在的には 262,144 色使用できるが、メモリ容量の制約から同時に発色できる数は大幅に少ない数に制限されている。

8514/A のメモリ

8514/Aでは、0.5Mバイトのメモリが標準装備されているが、4ビットの深さの1,024×768ピクセル画像にはこれで十分である。このメモリは4つのビットプレーンに分割され、各ビットプレーンは1Mビットの記憶領域で構成されて、16色を同時に画面に発色することができる。

この構成によって128Kバイトのメモリが予備として残るため、それぞれのビットプレーンでは256Kビットになる。画面表示に使用されるメモリは、記憶領域の最下位部分を使用している。残りの部分は、領域の塗りつぶしや、ロード可能なキャラクタセットの保持などのような機能の実行に必要なデータを格納するための補助メモリとして使用されている。この追加メモリは8514/Aのメモリの残りの部分とまったく同様に、ホストマ

イクロプロセッサによって直接アドレス指定できるが、IBM はこの機能をサポートしていない。したがって、これに書き込むと、8514/A が別の目的でここに格納している情報を破壊する可能性がある。

VGA 互換モードでは、8514/Aは、その0.5M バイトを、2 つの独立したバンクで構成されている、4 ビットの深さの8 つの1024×512 ビットプレーンに分割している。8514/Aのハードウェア設計では、これらのプレーンを1 つの8 ビットプレーンに組み合わせることはできない。

8514/A のメモリ拡張

IBM は、8514/A 用の 0.5M バイト RAM の 拡張オプションを、ドータカードとして提供して いる。この追加メモリは、ディスプレイアダプタ のカラー機能を強化する設計になっており、その 表示色は、8 ビットプレーン、256 色の同時発色に 発展している。さらに、この追加メモリを使用すると、8514/A の両 VGA マップとも、8 ビットの深さおよび 256 色の同時発色が実現される。

2 画面操作

8514/Aシステムは、そのコンピュータホストに組み込まれている VGA 回路から独立して動作する。したがって、一方のメモリを変更する操作が、他方のメモリも変更するとはかぎらない。8514/Aが VGA モードにあるときには、2つの VGAシステムの両方に同時に操作が行われる。ただし、一部の操作(パレットのロード、モード変更など)は、8514/A 画面に違った影響を与えて、正しくない色が表示されたり、グレースケールがおかしくなることがある。また、8514/Aがその固有のモードにあるときには、2つの画面は独立して使用することができる。一般に、8514/Aで描画を行ない、VGA 画面でテキスト表示を行うことになる。

8514/A の接続

8514/A ディスプレイアダプタは、VGA 規格 と同じ高密度 15 ピン Dsub コネクタを共用してい る。ただし、ピン割り当ては多少異なっている。 各色およびそのリターン、垂直同期、水平同期に 提供される個別の信号線に加えて、追加の3本のリード線が、アダプタに接続されたディスプレイを識別するための1本のリード線の代わりに使用されている。

モニタ識別信号は、8514/A ボードにフィードバックされ、これによって 8514/A は接続先のディスプレイのタイプを認識できる。これらの信号のおかげで、8514/A は、そのコネクタに接続される可能性のある固定周波型 VGA ディスプレイに、

高解像度/インタレース方式信号を送信してしまうようなことがなくなるわけだ。このフィードバック方式によって、ディスプレイとアダプタが適切に機能することが保証され、モノクロディスプレイを CGA アダプタに接続した際に発生する問題を確実に回避できるのである。表 13-4 は、同期信号コードの極性がディスプレイのタイプによってどのように変わるかを示したものである。

表 13-4 VGA と 8514/A の同期信号コード

モード番号	モード機能	ライン数	H-Sync. の極性	V-Sync. の極性
1	EGA	350	正	負
2	VGA テキストまたは CGA 互 換	400	負	正
3	VGA グラフィックス	480	負	負
4	8514/A	768	Œ	Œ
ディスプレイニ	1ード信号			
ID ビット 8503 (モノ)		8513	8512	8514
0	N/C	0V	0 V	0V
1	0V	N/C	N/C	N/C
2	N/C	N/C	N/C	0V

8514/A 互換のアダプタ

約3年の開発期間を経て、独立系のチップメーカーは、8514/Aディスプレイアダプタのハードウェア側のクローンを作ることに成功した。初めに、Western Digital 社が、本格的なレジスタ互換の8514/Aコントローラチップを製造することに成功した。そして、複数のメーカーはこのチップを使用して、ISAバスに接続できるボードを作った(複数のボードメーカーが先に8514/Aアダプタインターフェイスの互換製品をリリースしているが、完全なレジスタ互換性ではなかった)。これらのハードウェア互換ボードの大半は、ハードウェア互換性が、ディスプレイアダプタ自身だけでなく、システム全体の互換性に影響を与えることを認識していたため、基本規格に改良を加えるという形をとった。インターレース方式のモニター信

号はこの規格の最悪の側面だが、ソフトウェアは この部分とは直接は関係がないため、互換性の問 題は回避することができた。

ほとんどの非 IBM 8514/A アダプタは、規格の1,024×768 解像度を維持する一方で、モニタ周波数を選択するための機能を備えている。その大半のアダプタは、IBM インタレース方式周波数に加えて、大半は60Hz および70Hz (以上)のノンインタレース動作を提供しているのである。インタレースモードでは、IBM の最初の8514 およびその後継機種である8515 などのデュアル周波数モニタを使用することができる。一方、ノンインタレースモードでは、高いリフレッシュレート(60Hz リフレッシュで48kHz、70Hz リフレッシュで56kHz など)で動作できるマルチスキャンモニタが必要である。

13.10 拡張グラフィックスアレイ

8514/A 規格の採用に積極的でなかったメーカーもあったが、彼らのこの判断は、1990年のIBMによる拡張グラフィックスアレイの導入によって、結果的に正しいことが判明した。これは一般には XGA と呼ばれている。少数のメーカーが8514/A アダプタインターフェイスおよびそのハードウェアレジスタの両方に適合するディスプレイアダプタを公表したのと同時に、当の IBM はこの規格を自ら見放してしまったのである。 XGAは、8514/A アダプタインターフェイスとだけバックワードコンパチビリティがあった。また、クローンにとっては複製が困難であった8514/A レジスタは、この新規格からは無視されている。

別の視点から見れば、XGA は、IBM 自身によって 8514/A ディスプレイアダプタに代わるものとして作られたもので、その違いは一見しただけではわからない。現在の XGA は、8514/A と同じ周波数 (35.5kHz の水平周波数、44Hz のインタレース方式垂直周波数)で動作し、同じモニタ (IBM の「8515」、最初の 8514 に代わる 15 インチカラーディスプレイ)を使用するように設計されている。また、XGA は、8514/A アダプタインターフェイスを組み込んで、8514/A ソフトウェアとのバックワードコンパチビリティを確保している。また、XGA と 8514/A は共に、マイクロチャネルコンピュータにだけ適合するようになっている。

しかし、XGA は、8514/A にいくつか改良を加えている。たとえば、モニタインタレース方式を強制しておらず、これによって、最終的に IBM は 8514/A 互換ディスプレイアダプタメーカーの仲間入りをするのである。アフタマーケットベンダーは、8514/A 規格を順守しているときには、最大 70 Hz のフレーム周波数で、インタレース方式およびノンインタレース方式の両ディスプレイをサポートしていた。 XGA は、IBM が同じ戦略を取ることを可能にしている。

ただし、これらの互換ボードと違って、XGA には8514/Aとのハードウェア互換性がなく、 8514/A ボードのレジスタを直接制御するソフトウェアは実行することができない。IBM は、XGAを自分が主導権を有する規格として見ているのに対し、8514/A はグラフィックスコプロセシングの世界でのみ引き続き君臨していくための規格としている。

オープン規格

業界に受け入れられなかった 8514/A の失敗を 再び繰り返さないように、IBM は XGA の機能お よび動作原理を完全公開することによって、これ をオープン規格にした。こうすれば、わずかな電 子部品と開発資金さえあれば、だれでも1年程度 という比較的短い期間でこれのクローンを作るこ とができる。

しかしながら、IBM が最初に製造した XGA システムは、その最たる欠陥箇所であるインタレース方式モニタの採用という点で 8514/A と歩調を合わせていたため、期待外れの声と共に迎えられた。とはいえ、XGA システムには長所もあり、大半の Windows アクセラレータは、その機能の大半を組み込んでいる。インタレース方式は XGAシステムでは要求されなかったが、サードパーティの 8514/A アダプタと同様に、XGA システムは、インタレース方式またはノンインタレース方式のいずれのモニタでも動作するように設計されていた。 XGA を独占的な規格の地位から解放するために、VESA は委員会 (IBM もその一員)を設置して、XGA を、1992 年半ばには達していなかった独立した業界規格にまで発展させている。

コプロセッサ

XGA ボードは、自分専用のコプロセッサを搭載している。これは IBM の独自設計で、Windows および OS/2 のプレゼンテーションマネージャ表示に最適化されたものである。実行できる機能には、BitBlt (ビットブロック転送)、同様のピクセルブロック転送、線の描画、領域の塗りつぶし、

論理と算術の操作、マップマスキング、シザリング、xy 軸アドレス指定などがある(対照的に、固定機能型の8514/Aは、CADソフトウェアでの使用を目的としている)。

もちろん、IBM の XGA コプロセッサは、XGA ボード設計の必須部分ではない。「TMS34010」シリーズのコプロセッサを使用しているメーカーは、このチップが適当なソフトウェアまたはファームウェアがあれば XGA をサポートできると考えている。

ハードウェアスプライト

また、XGA は、豊富な新機能および新モードをパーソナルコンピュータディスプレイに追加する。その1つに、ハードウェア制御のスプライトがある。これは、メインのビデオメモリの内容を乱すことなく、メインの画像に重なって表示される64×64ピクセルの画像である。このスプライトは、画面全体を書きなおさなくても、位置決めコマンドを使用するだけで画面上を移動できるため、マウスカーソルのような高速に動く画面要素を移動させる場合に特に有効である。

XGA のモード

XGAには2種類の動作モードがある。1つはVGAボードをエミュレートするモード、もう1つは自分自身の拡張グラフィックスモードである。VGAモードでは、これまでのVGAアダプタとハードウェアの互換性があり、すべてのVGA機能を取り入れている。一方、後者のモードでは、640×480または1,024×768ピクセルの解像度を生成する(いずれの解像度かは、ユーザーのソフトウェアが選択する)。また、XGAは、それぞれ8ピクセル幅のキャラクタを使用して、200本、350本、400本のそれぞれの走査線を持つ132桁テキストモードをサポートしている。

XGA アダプタに含まれる VGA 回路は、1 つのコンピュータの中で別の VGA アダプタと共存することはできない。IBM では、このような場合、XGA アダプタの VGA 部分をオフにすることを可能にしている。また、1 台のパーソナルコンピュータに、最大8 つの XGA システムを搭載すること

ができる。

XGA システムは、BIOS を拡張するために、連続した 8K バイトのブロックのメモリが必要になるが、このブロックは High DOS メモリ領域中の、C0000h~DFFFFhのアドレス範囲になければならない。このブロックの上位 1K バイトは、コマンドを XGA コプロセッサに送信する場合に使用する XGA の制御レジスタのために確保されている。

メモリ

また、XGAは、ソフトウェアが画面メモリをアドレス指定する上で革新的な手法を取り入れている。実際に、3種類のアパチャと呼ばれているアドレス指定方式がサポートされているが、これらのアクセス性能と使用法は、システムのマイクロプロセッサおよび XGA アダプタが接続されるスロットのバス幅によって決定される。

最も基本的なアパチャは 64K バイトで、これは High DOS メモリのベースに位置する最初の 64K バイトのセグメント (A0000h から開始するアドレス) で、標準 VGA のアドレス領域に対応している。このアパチャは B0000h から始まる範囲に再配置することができる。その値は、ボード上のレジスタによって設定される。ただし、VGA とは異なり、このアパチャは、ページングによって XGA システムのすべてのメモリ (最大 4M バイト) にアドレス指定を行う。このアパチャによって、8088 および 8086 のマイクロプロセッサは、それらの限定されたリアルモードのアドレス指定範囲で、XGA メモリを使用することができる。

1M バイトのアパチャでは、XGA メモリは、拡張メモリの先頭の16M バイトの範囲内で、任意の1M バイトに位置することができる、1M バイトウインドウによって制御する。また、このアパチャは、XGA メモリの4M バイトすべてにアクセスできるようにページングされる。このアパチャは、80286 および386SX のマイクロプロセッサがXGA メモリに簡単にアクセスできるように設計されている。同時に、これは、XGA ボードが16ビットの拡張スロットに接続するときに利用できる最大のアパチャでもある。

XGA のメモリは、先頭の 16M バイトより上位の拡張メモリに位置する 4M バイトアパチャによってアドレス指定できる。これによって、386DX または 486 のマイクロプロセッサは、XGA ボードの最大 RAM に (ページングによらないで) 直接アクセスできるのだ。

カラー

完全な下位互換性を確保するために、XGA は VGA システムの色記憶方式の使用を認めている。 VGA と同様に、XGA は、262,144 色のパレット から選択される、最大 256 色の画面同時発色が可能なモードを取り入れている。

一度に画面に発色できる最大色数は、メモリ容量によって決まる。512K バイトのビデオメモリを搭載したローエンドボードでは、低解像度で256色、高解像度で16色を同時に発色することができる。一方、現在最大である1M バイトの VRAMでは、XGA は、低解像度で65,536色、高解像度で256色を同時に発色することができる。

XGA は VGA および 8514/A ボードと同じ DAC を使用しているため、古いボードと同じ 262,144 色パレットに制限されている。また、XGA は、パレットレジスタを避けて、256 の画面色に直接アクセスする、ダイレクトアドレッシングモードを取り入れている。

さらに、XGA は、自分専用の 16 ビットのダイレクトカラー記憶フォーマットを追加している。16 ビットは、赤と青に対してそれぞれ 5 ビット、緑に対して 6 ビットと、原色間で配分される。これによって、同時に発色できる画面の色は 65,536 色になる。この範囲は、現実世界の色彩と比較すると限定されているように見えるが、赤、青、緑に対してそれぞれ 5 ビットが配分されている 15 ビッ

トカラーの「TruVision TARGA」システムの能力 と比較すると倍である。TARGAシステムが大半 のビデオディスプレイに適合すると判明している 事情を考えると、XGAはたいへん優れた能力を 持っているといえる。

XGA コプロセッサは、パレットにマップされた色に制限されており、16 ビットのダイレクトカラーの値を操作することができない。したがって、ダイレクトカラーモードでは、XGA ボードをダムフレームバッファとして使用することが必要になる。ただし、パーソナルコンピュータのマイクロプロセッサが、ダイレクトカラー効果のためにメモリを使用しているときには、コプロセッサはXGA メモリを操作することができる。

バスマスタリング

XGA ボードはバスマスタリング操作用に設計されているため、そのコプロセッサは自分専用のオンボードの VRAM ばかりでなく、パーソナルコンピュータのシステム RAM 全体も直接制御することができる。この XGA コプロセッサは、パーソナルコンピュータのメインメモリに格納されているメモリに対してグラフィックス計算を行って、バスマスタとして計算結果の画像を、VRAM 画面メモリに速やかに転送できるよう設計されている。

XGA ボードの制御は、7K バイトの BIOS 拡張 コードと共に、パーソナルコンピュータの High DOS 領域(DOS の古い 640K バイトの制限を超え てアドレス指定されるメモリ) に置かれるメモリ マップドレジスタによって行われる。コマンドを XGA に送信する場合には、ソフトウェアは、特 定データをこれらのメモリアドレスのどこかに書 き込むだけでよい。

CONTROL OF A STANDARD COMMENT OF A STANDARD COMENT OF A STANDARD COMMENT OF A STANDARD C

-

日本の (大学) 「日本の (大学) 「)(日本の) 「日本の (大学)

本では、「本のでは、「本のでは、」、「本のでは、」、「本のでは、「ないでは、「本のでは、「ないでは、「本のでは、「ないいでは、「ないでは、「ないでは、「ないでは、「ないでは、「ないでは、「ないでは、「ないでは、「ないでは、「ないでは、「ないでは、「

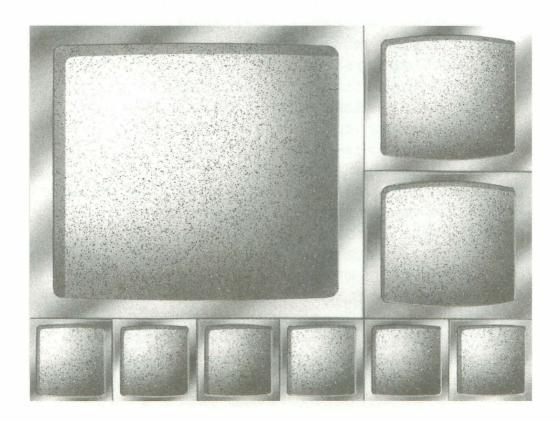
The second secon

バスマスがリンサ

大学のでは、大学のでは、「ない」というでは、「他のできた」では、「ない」というできた。「ない」には、「ない、「ない」には、「ない、「ない、」には、「ない、「ない、「ない、」には、「ない、「ない、」には、「ない、「ない、「ない、「ない、「ない、」には、「ない、「ない、「ない、「ない

第一4章

ディスプレイ



ディスプレイは、パーソナルコンピュータが何をしているのか監視するためにのぞき込む、鍵穴のようなものである。ディスプレイなしで作業をすることはできないし、適切なディスプレイがなければ良い仕事はできない。実際に目にする画像の品質、精細さ、鮮明さ、色彩などはすべて、使用するディスプレイによって異なる。もはや今日のコンピュータディスプレイはテレビモニタのように単機能ではなく、フラットクリーンや高解像度を実現するために、どんどん新しい技術を取り入れている。

データは目で見ることができない。コンピュータが処理する情報は観念にしかすぎず、観念は、たとえ人間の精神の中にあってもコンピュータの中にあっても、無形の存在である。自分の観念を視覚化することはできるかも知れないが、コンピュータの数値化された思考内容を表わすパルスパターンは、人間が直接のぞき見ることはできない。おそらく自信を持ってそれができるという人はいないだろう。他人の考えが読めないくらいなのだから、人間とは歴然と異なるコンピュータ回路のサージを読むことなど、ほとんど不可能である。

大半の人々、少なくとも舞台で演じるマジックの訓練を受けたことのない人たちの場合、他人の考え自体は読みとることはできないが、それでも、外見を注意深く観察することで、他人の心の中の動きをかなり摑むことができる。もちろん、相手の考えの本当のところまでは入り込めないが、眼の動き、顔の表情、そぶり、ときには話しぶりからさえも、相手の考えていることが漠然とながら分かることがある。コンピュータについても同じだ。電子が論理ゲートを流れているのを見ることはできないが、コンピュータの顔つき、すなわち、ディスプレイを見つめることで、画面の背後で何が進行しているかおおよその見当をつけることができる。ディスプレイが表示しているのは、コンピュータの思考の結果なのである。

キーボードが使用者からコンピュータに向かう通信経路であるとすれば、ディスプレイはコンピュータから使用者に向けられた連絡経路である。たとえ親友であっても心の内をすべて話してくれないのと同様に、ディスプレイも使用者にすべてを伝えはしない。しかしその代わりにディスプレイは鮮明な画像を提供してくれるので、そこから使用者は、コンピュータが何を行っているのか、自分なりの結論を引き出すことができる。

ディスプレイはコンピュータの思考内容と直接的な関係にはないため、コンピュータ内ではまったく同じ仕組みで働く同一の考え、すなわち、同じプログラムであっても、画面上にはまったく異なる画像を作り出すことがあり得る。表紙からは本の内容がわからないように、ディスプレイからコンピュータの性能を判断することはできないわけだ。

しかし、目にする画像は、コンピュータを使った作業の出来の善し悪しに影響を与えるため、ディスプレイは重要な存在である。お粗末なディスプレイを使うと、眼精疲労や頭痛を引き起こし、コンピュータの操作が苦痛になったりすることがある。逆に、最高品質のディスプレイであれば、輪郭のはっきりとした文字や鮮明な図形が表示でき、操作が楽しいシステムとなるのだ。

14.1 モニタとディスプレイ

"ディスプレイ"と"モニタ"は、用語としてはしばしば同義語のように使われているが、実際は明確に異なるものである。ディスプレイは、画像を映し出す装置、つまり使用者が目にする画面のことであり、モニタは、ディスプレイにサポート回路を付け加えた箱のような装置全体のことである。サポート回路によって、コンピュータ(またはビデオカセットレコーダなどのそれ以外の装置)から送られてきた信号は、ディスプレイが処理できる適切な形式に変換される。ほとんどのモニタはテレビと同様の原理で動作しているが、ディスプレイ自体は液晶や光子を発するある種の気体など、様々な技術を利用して作られている。

モニタと旧式のテレビとは、そもそも技術的な 土台が似ているため、きわめてよく似た装置であ る。モニタは、回路を追加して機能を増強したディ スプレイであり、テレビはこのモニタに、さらに 信号の変換を行う電子回路を加えたものである。 テレビには、放送局やケーブルテレビ会社から送 られてくる信号を、モニタが使用する信号とほぼ 同じ形式に変換する、チューナ(波長調整器)また は復調器が組み込まれている。このチューナ以外 の部分では、テレビとモニタは動作方法はほとん ど同じで、事実、旧式のコンピュータのモニタの 中には、適切な信号を与えればテレビと同じよう に機能するものもある。

しかし、最近のモニタは、そのルーツであるテレビをはるかに越えて発展している。それらのモニタは、より高い鮮明度と色純度を実現するために、テレビ局が発信できる値を超える高い周波数で動作する設計になっており、実際にテレビ以上の品質を達成している。

ディスプレイとモニタは、様々な技術を駆使して 目に見える画像を作成している。それらの技術は基 本的に2つに分かれるが、この2つの技術が、デ スクトップコンピュータとラップトップコンピュー タのそれぞれのディスプレイの違いともなってい る。デスクトップコンピュータではほとんどの場 合、普通のテレビに使用されているブラウン管に似た陰極線管を基礎にしたシステムを使用している。これに対し、ラップトップやノートパソコンでは、主として液晶ディスプレイを使用している。プラズマディスプレイを備えたデスクトップコンピュータやポータブルシステムもあるが、この種のディスプレイは一般的ではなく、値段も高い。

陰極線管

現在でも使用されている画像作成電子システムの中で最も古いものは、陰極線管(CRT: Cathode Ray Tube)である。これはまったく説明的な名称である。陰極線管は、特殊な形をした真空管、つまり、真空部分にきわめて低圧の不活性ガスを詰めたガラス管をベースにした装置である。真空管の中のカソード(陰極)はアノード(陽極)に向かって電子線を放射している(電子は陰電荷を持っているので、陽電位に引きつけられるのである)。CRTのカソードは電子を発射する"曲射砲"のような働きをしていることから、しばしば電子銃と呼ばれる。

蛍光体

真空管の頚状部の電子銃から発射された電子は、 燐光性化合物の膜で被覆された真空管の平面なフェイス (画面部分) の内側へと流れる。この燐光性化 合物の膜には、電子ビームに当たると発光すると いう素晴らしい特性がある。ビームの照射をフェイス一杯に移動させるために、真空管の周囲には 強力な電磁石 (ヨークという) を数個配置して、電 子ビームの飛行進路を曲げている。

ョークが生成する磁界を慎重に制御して、ビームに管のフェイス上の表示線の1本1本を走査させることによって表示が行われる。

CRT上に見える画像は、燐光性化合物(業界用語では単に蛍光体と呼ばれている)に電気的な刺激を与えて発光させた光である。ただし、CRTにはすべて同じ蛍光体が使われているわけではなく、

で異なっている。

様々な化合物や混合物が使用されており、電子ビー IBM PC 互換機のモニタでも様々な種類の蛍光 ムに当たったときの発光色や残光時間はそれぞれ 体が数多く使われている。表 14-1 は、それらの 蛍光体とその特性をまとめたものである。

表 14-1 様々な蛍光体とその特性

タイプ	定常色	減衰色	減衰時間 (ms) *	用途/備考		
P1	黄緑	黄緑	15	オシロスコープ、レーダー		
P4	白	白	0.1	ディスプレイ、テレビ		
P7	白	黄緑	不明	オシロスコープ		
P11	青	青	0.1	写真		
P12	橙	橙	不明	レーダー		
P16	紫	紫	不明	紫外線		
P19	橙	橙	500	レーダー		
P22R	赤	赤	0.7	プロジェクション		
P22G	黄緑	黄緑	0.06	プロジェクション		
P22B	青	青	0.06	プロジェクション		
P26	橙	橙	0.2	レーダー、医療		
P28	黄緑	黄緑	0.05	レーダー、医療		
P31	黄緑	黄緑	0.07	オシロスコープ、ディスプレイ		
P38	橙	橙	1000	レーダー		
P39	黄緑	黄緑	0.07	レーダー、ディスプレイ		
P40	白	黄緑	0.045	中期残光、ディスプレイ		
P42	黄緑	黄緑	0.1	ディスプレイ		
P43	黄緑	黄緑	1.5	ディスプレイ		
P45	白	白	1.5	写真		
P46	黄緑	黄緑	1.6	浮点走査		
P55	青	青	0.05	プロジェクション		
P56	赤	赤	2.25	プロジェクション		
P101	黄緑	黄緑	0.125	ディスプレイ		
P103	白	白	0.084	P4 で水色の背景		
P104	白	白	0.085	高効率の P4		
P105	白	黄緑	100+	長期残光の P7		
P106	橙	橙	0.3	ディスプレイ		
P108	黄緑	黄緑	125	P39 で水色の背景		
P109	黄緑	黄緑	0.08	高効率 P31		
P110	黄緑	黄緑	0.08	P31 で水色の背景		
P111	赤/緑	赤/緑	不明	電圧ペネトレーション		
P112	黄緑	黄緑	不明	イリジウムライトペン/ドープ処理した P3		
P115	白	白	0.08	黄色の強い P4		
P118	白	白	0.09	ディスプレイ		

タイプ	定常色	減衰色	減衰時間 (ms)		用途/備考		
P120	黄緑	黄緑	0.075 0.075		P42 水色の背景		
P122	黄緑	黄緑			ディスプレイ		
P123	赤外	N/A	不明		赤外線		
P124	黄緑	黄緑	0.130		P4 の黄色部分		
P127	緑	黄緑	不明		P11+P39 ライトペン用		
P128	黄緑	黄緑	0.06		イリジウムライトペン/ドープ処理した P3		
P131	黄緑	黄緑	不明		イリジウムライトペン/ドープ処理した P3		
P133	赤から緑	赤から緑	変化		電流感知		
P134	橙	橙	50		ヨーロッパの蛍光体		
P136	白	白	0.085		コントラストの大きい P4		
P137	黄緑	黄緑	0.125		高効率の P101		
P138	黄緑	黄緑	0.07		コントラストの大きい P31		
P139	黄緑	黄緑	70		コントラストの大きい P39		
P141	黄緑	黄緑	0.1		コントラストの大きい P42		
P143	白	黄緑	0.05		コントラストの大きい P40		
P144	橙	橙	0.05		コントラストの大きい P134		
P146	黄緑	黄緑	0.08		コントラストの大きい P109		
P148	黄緑	黄緑	不明		ライトペン応用品		
P150	黄緑	黄緑	0.075		データディスプレイ		
P154	黄緑	黄緑	0.075		ディスプレイ		
P155	黄緑	黄緑	不明		ライトペン応用品		
P156	黄緑	黄緑	0.07		ライトペン応用品		
P158	黄	黄	140		中期残光		
P159	黄緑	黄緑	不明		コントラストの大きい P148		
P160	黄緑	黄緑	0.07		データディスプレイ		
P161	黄緑	黄緑	0.07		データディスプレイ		
P162	黄緑	黄緑	0.1		データディスプレイ		
P163	白	白	2		写真		
P164	白	黄緑	0.1		ディスプレイ		
P166	橙	橙	不明		イリジウムライトペン		
P167	白	É	0.075		ディスプレイ		
P168	黄緑	黄緑	0.075		プロジェクション		
P169	薄黄色	薄黄色	1.5		ディスプレイ		
P170			不明		フィスノレイ コントラストの大きい P108		
P170 P171	橙 白	橙 黄緑	0.2		コントラストの大さい P108 ディスプレイ		
P171 P172	緑	緑	不明		ライトペン、ディスプレイ		
P172 P173	赤外	形 N/A	不明		ライトペン、ティスノレイ		
P175	赤	N/A 赤	0.6		ディスプレイ		
P176	黄緑	黄緑	0.0		写真		

タイプ	定常色	減衰色	減衰時間	(ms)	用途/備考		
P177	緑	緑	0.1	35	データディスプレイ	44.1	
P178	黄緑	黄緑	0.1		ディスプレイ		
P179	白	白	1		ディスプレイ		
P180	黄橙	黄橙	0.075		ディスプレイ		
P181	黄緑	黄緑	不明		カラーシャッターディ	ィスプレイ	
P182	橙	橙	50		ディスプレイ		
P183	橙	橙	不明		ライトペン、ディス	プレイ	
P184	白	白	0.075		ディスプレイ		
P185	橙	橙	30		コントラストの大き	v P134	
P186	黄緑	黄緑	25		ディスプレイ		
P187	黄緑	黄緑	不明		ライトペン、P39		
P188	白	白	0.05		白色ディスプレイ		
P189	白	白	不明		白色ディスプレイ		
P190	橙	橙	0.1		ディスプレイ		
P191	白	白	0.12		白色ディスプレイ		
P192	白	白	0.2		白色ディスプレイ		
P193	白	白	0.08		白色ディスプレイ		
P194	橙	橙	17		ディスプレイ		
P195	白	白	0.125		反転ディスプレイ		

* ディスプレイが放射レベルから 10%減衰するまでの概算時間 (ミリ秒)

蛍光体の種類によって画面上の画像の色が決まる。モノクロのディスプレイでは一般的にアンバーや緑や、白っぽい色の蛍光体が数種類使われている。カラー CRT ディスプレイでは、真空管の内側全体に、3種類の蛍光体が細かなパターンで塗布されている。パターンは、隣り合わせに配列された加法混色の3原色(赤、緑、青)のドットやストライプで形成されている。このドット3つをひとまとまりとして、トライアドとかトリプレットと呼んでいる。

1組のトライアドを構成する3個のドットで、1 個の画素 (ピクセル) が形成されている (IBM は、 ピクセルについてペル: pel という省略形を好んで 使用している)。

カラーモニタの画面上のカラートライアドを構成する3色は、メーカー各社が自由に選ぶことができるが、実際にはほとんどのメーカーが同一の蛍光体の組み合わせ(P22)を採用している。した

がって、多色モニタの基本的なカラー能力は同じ である。

カラーモニタは、3 原色のいずれかの蛍光体ドットを個別に電子ビームで照射することによって、 照射された色で画面を点灯させることができる。 また、3 原色をいろいろと組み合わせて照射すれ ば、そのほかの色も作り出すことができる。各原 色の輝度を変えれば、無限に色彩を作成すること も可能である。

モノクロディスプレイの場合は、電子ビームが 真空管のどこを刺激しても同じ色を発光するよう に、同種の蛍光体が CRT に塗布されている。蛍光 体の色が画面全体の発光色を決定するわけである。

この場合一般に使用されているのは、アンバー、緑、白の3色で、どの色が最もよいかは好みと偏見の問題である。様々な研究によってこの3色はいずれも優れた色であることが裏付けられている。

- ●緑――緑色の画面は、IBM が自社のほとんどのターミナルと最初のPCのディスプレイに採用しており、ほかの色に先行してスタートを切っている。緑はオシロスコープやレーダー画面(これらの大部分は現在でも頑強に緑色を守っている)の時代から引き継がれたものの1つで、周囲の光度が低い場所で使用する場合は緑がよい。しかしここ数年、ユーザーが選択するスクリーンの色としては人気が低下している。
- ●アンバー―いくつかの研究によって、アンバーの画面は見た目によく、周囲の環境の光度が明るいときは文字が読みやすいといわれたため、1980年代に人気が上昇した。黒と黄色のコントラストは最も目につく色の組み合わせの1つで、この色に近いアンバーのディスプレイは知覚しやすいわけだ。また、アンバーのディスプレイはヨーロッパにおいては事実上のモニタ標準となっている。
- ●白――かつては白い画面は避けられていた。単に白黒テレビを連想させるというだけの理由もあったが、主な理由としては、最も初期のモノクロディスプレイは大抵コンポジットインターフェイスを使っていたために、画像の品質が悪かったという事情による。

Apple の Macintosh とデスクトップパブリッシングの登場により、白という色は再評価されるこことになった。白は、時代を越えてオフィスの至るところで使われてきた紙の色である。また、様々な色の組み合わせの中で、白と黒は最も文字が読みやすいコントラストの1つである。IBM は、VGAとモノクロの白色ディスプレイの発表に伴い、全面的な白色への転換を促進した。

注意深く画面を観察すると、いわゆる"白色"の 蛍光体に明るい黄色を混ぜてまだらにするなど、 微妙な色構成になっているのがわかるだろう。メーカーは種類の異なる蛍光体をいくつか混ぜ合わせ て、モノクロディスプレイの色に微調整を施すことにより、その色調を冷たい青みがかったテレビ の白色か、暖かい黄色がかった紙の白色のいずれかにしている。

通常の白色と、紙のような白色のディスプレイ

とを分ける適切な境界線はない。理屈では、ペーパーホワイトは、タイプに使用する代表的なボンド紙の色ということになっており、白色モニタの大半が使用している青みがかった発光色より、心持ち暖かみのある白である。しかし、ペーパーホワイトという色も、誰がこの名称を使っているかで違ってくる。

画面の読みやすさに関しては、蛍光体に劣らず 重要であるにもかかわず、無視されることが多い のが表示管の背景の色である。モノクロ画面の背 景色はライトグレーからほとんど黒に近い色まで 幅広い。画面の色が暗くなれば、前景の文字と背 景とのコントラストが鮮明になり、特に周囲が明 るい場所ではディスプレイが一層見やすくなる。

カラー画面の背景の部分、すなわち、蛍光体の発光するドットとドットの間のスペースは、マトリックスと呼ばれ、電子ビームでは照射されない。このマトリックスの色が、電源を切った時の画面の色になる。画面が薄灰色になるか、深緑がかった灰色になるか、または黒に近い色になるかは、マトリックスの色によって決まるわけだ。マトリックスが黒や暗い色であればあるほど、表示されている画像は引き立って見える。明るいグレーのマトリックスにすると、白の表示色が純白に近くなる。ただしこの差は微妙で、管を2つ並べてみないと違いは見分けられない程度である。

色温度

厳密な色合わせを必要とする仕事では、モニタの色温度が重要な問題となることがある。もちろん、白光は白色ではなく、その中にはすべての色が含まれている。しかも、白色といってもすべて一様ではない。青色の強いものもあるし、黄色の強いものもある。白色と言われる中に含まれるこれらの異なる白色は、色温度、すなわち、理想黒体がその色を発するのに必要なケルビン度数(絶対温度)で表わされる。

炉で熱した路鉄の白熱のように、温度が上昇するにつれて、発光体の色合いは赤からオレンジ色へ、オレンジ色から黄色へ、黄色から青みがかった白へと変化してゆく。色温度とは、単にこれらの色のひとつひとつに絶対温度の温度数を与えた

ものである。

たとえば、普通の白熱電球は2,700Kから3,400Kの範囲である。蛍光灯はほとんどの場合カラースペクトルが不連続で、特定の色合い(特に緑)が強く、そのほかの色合いが欠けているため、正しい色温度を割り当てるのは不可能である。蛍光灯は一般に、色温度が約5,000Kの日光に近くなるように作られている。

紙と顔料ではどうしても光を反射してしまうため、色を特定する際には問題が生じる。実際の色は顔料や紙を照らしている光の温度に左右されているのである。一方、モニタ画面は発光しているため、その色は照明の影響を受けない。モニタ画面には、モニタを使用しない作業で見る光とは異なる(異なる可能性が高い)独自の色温度がある。モニタは、白熱光や蛍光ではなく、日光に近い色温度で発光するように設計されている。

しかし、日光についてすべての人が同じ定義 をしているわけではない。たとえば、真昼の日 光は5.500~6.000Kだが、雲りの日中は色温度が 10,000Kに達することがある。これは、上空の青 い輝き(色温度が高い)が分散して、太陽から来る 黄色がかった光を抑えているからである。モニタ の色温度を決定しているのは、ブラウン管画面に 使用されている蛍光体の固有の色およびそれらを 混ぜ合わせた色と、これらの蛍光体を照射する電 子ビームの相対的な強度である。雨天を好むアヒ ルやイギリス人でなければしっくりこないような、 雲りのどんよりとした午後こそ日中と考える技術 者もいて、これらの技術者は当然モニタの色温度 を 10,000K の高さにしている。その一方では、コ ダクローム*1の世界に住んでいる技術者たちもい て、その世界では、モニタの色温度は公園にチュー リップの花が咲く春の日中と同じ 5,300K になって いる。

残光

CRT の蛍光体は、残光の点でも違いがある。残 光とは、電子ビームを当てた後、どれだけの時間 蛍光体が発光しているかを表わす用語である。ほ とんどのモニタは中程度の時間の残光の蛍光体を 使用している。

残光時間が長いと目でわかる。画像がぼやっとした感じになり、数秒間は残っているが、やがてゆっくりと消えてゆくのが見えるのである。こうした効果は特に暗い部屋では煩わしく感じるかも知れないが、この効果によってもう1つの頭痛の種であるフリッカ(ちらつき)を抑えることができる。

まさにその言葉の響きどおりに、フリッカとは 画面の画像が素早くフラッシュすることで、これ は、画面が電子ビームで一度走査された後、再び 走査される前に画像が減衰することによって発生 する。残像(人間の視覚系統の特性)効果により、 実際には素早い発光を繰り返している光源が、人 間の目には切れ目なく光っているように見える。 たとえば、継続して点灯しているように見える蛍 光灯も、1 秒間に 120 回(一般家庭用電気の公称周 波数の 2 倍)の点滅を繰り返している。

電子ビームの通過が連続しているように見えないほど通過の周期が長い場合、残光の長い蛍光体の発光によってその隙間を埋めることができる。このため、残光の長い蛍光体は、インタレースモニタ(この章で後述)のような、走査が通常よりも遅い表示システムにしばしば使用されている。一般的な(しかも目に心地好い)走査速度は、1秒当たり60回以上なのに対し、IBMのモノクロディスプレイは、走査速度が毎秒50回となっており、残光の長い緑色の蛍光体を使用したディスプレイとしては恐らく最も評判が悪い。

ただし、残光の長い蛍光体は緑色である必要はない。実際に、フリッカがあると煩わしい用途においては、残光の長い様々な色が使用されている。 残光の長い蛍光体は、ノンインタレースディスプレイに比べて走査速度の遅い、インタレースシステムで最も頻繁に使用されている。

ただし、残光の長い蛍光体の場合は、**ライトペ**ンが使用できなくなる。これは、ライトペンの動作が、蛍光体のドットのひとつひとつが発光する

^{*1} 訳注:コダック社のカラーリバーサルフィルムのシリーズ名。他社のフィルムにくらべて、暖色系(色温度が低い)に寄った発色を持つ。

その瞬間を感知することに依存しているからである。 残光が長いと発光が長引くため、いくつかのドットが同時に発光しているようにライトペンには映ってしまい、 画面上のドットの位置を特定することができなくなるのである。

電子銃

モノクロ CRT には電子銃が1つ装備されており、画面全面を連続して走査している。カラーの真空管には大抵電子銃が3つ装備されているが、"単電子銃"管を売り物にしているカラーテレビやモニタもある。これは、何を電子銃と呼ぶかによってその数が変わってくるためである。カラー CRT はすべてそうだが、単電子銃管には個別に制御可能な独立した陰極が3つ装備されており、それぞれが電子を放出しているのである。そして、これら3つの陰極は組み込まれて1つの部品になっており、ビームを1つしか発生していないかのように制御することができる。

3電子銃管では、3つの電子銃は三角形に配置されているが、単電子銃管の場合は、陰極が一直線に配列されており、しばしばインラインガンという別名で呼ばれている。論理的には、インラインガンの方が組み立ては簡単といえるが、実使用においては、どちらの配列でも優れた性能を引き出せることに変わりはない。

カラー CRT の3つの電子銃は同時に電子を放出し、放出された電子によってできた3本のビームは、ヨークによって3本一緒に一定方向へと向けられる。ただし、3本のビームはそれぞれ個別に調整され、各ビームが正確に画面上の同じトライアドのカラードットに当たるようになっている。こうした制御方法を用いて、3本のビームを同じトライアドに収束(コンバージェンス)させていることから、この制御をコンバージェンス制御と呼んでいる。また、ビームを調整する処理は通常アラインメントと呼ばれている。

コンバージェンス

いずれのカラーモニタでも、3本の電子ビームはトライアド中の1個の蛍光体ドットを照射するように、画面上の正しい位置に正確に収束させな

ければならない。モニタが正しく調整されていなかったり、あるいは正しく設計、製造されていなかったりすると、3本のビームは一点にきちんと収束しない。収束が悪いと、虹のような陰影のある画像となったり、鮮明さや細部描写に乏しい画像となってしまう。個々のテキスト文字は輪郭がはっきりしないだけでなく、2色もしくは3色の色がにじんで表示されるのである。モノクロモニタの場合は、電子ビームが1本なので、その特性上このようなコンバージェンスの障害は、モニタの欠陥の原因ではなく、むしろ結果としての症状である。コンバージェンス障害は、ディスプレイの設計からだけでなく、個々のモニタの組み立て時の問題や

コンバージェンス障害が発生した場合、その結果が最も現われやすいのが画面の周囲の部分である。というのは、この部分は電子ビームが最も制御しにくいところだからである。ひどい状態のときは、コンバージェンス障害がそのディスプレイの鮮明度を制限する根本要因となり、ドットピッチが広くなったり、帯域幅が狭くなったりするだけにとどまらず(これらについては後述)、もっと大きな悪影響を及ぼすことがある。

設定調整からも生じる。これらの障害は個々のディ

スプレイによって大幅に異なることもあり得るし、 また輸送中の損傷により悪化する場合もある。

数多くのモニタメーカーは、自社製品について、 画面上の特定の箇所におけるコンバージェンスが 数分の1mmであると主張している。これを実際 に画面の1つの箇所だけでなく、いろいろな部分 から数字をとって比べてみると、画面の中心部分 の値は画面の角よりもつねに数字が小さい。つま り、コンバージェンスがきわめて細かく、精度が 高くなっている。

コンバージェンスで使用される数字は、特定の位置において2つの色がどれだけ離れているかを示した値である。数字が小さいほど精度が高いということになる。代表的なモニタでは、画面の1つの角のコンバージェンスは、公称約0.5(1/2)mmである。この数字は真空管のドットピッチよりも50%も大きく、コンバージェンスがモニタの鮮明度の限界になっていることがわかる。

コンバージェンス障害はモニタの調整で修正できることが多い。多くのモニタは内部にコンバージェンス制御機能があり、また、高解像度の(そして高価な)モニタの中には、外部にコンバージェンス調整機能が付いているものまである。ただし、モニタのコンバージェンスの調整は専門家の仕事であり、これは、コンピュータの出張修理の場合と同様に、うまく収束するようにモニタを修理してもらうと高い費用がかかる場合があるということを意味している。

現在、IBM やそのほか多くのディスプレイメーカーは、自社の製品について、寿命期間中はコンバージェンスの問題は発生しないと明言している。この場合、モニタの調整(適切な試験装置を持った専門家にしか行えない)の必要はなくなるが、寿命期間中ずっとコンバージェンスの悪いディスプレイを使いたくなければ、購入前には必ずディスプレイを試しておく必要があるだろう。

シャドウマスク

電子ビームについては、正しいドットに向けるということだけでは十分ではない。ビームの一部がこぼれ出て、同じトライアドのほかのドットに当たることあり得るからである。ビームが流れ出ると、色純度が失われる、すなわち、鮮やかな色合いが濁ってしまう結果となる。こうした影響を防ぎ、画像をできるだけ鮮明に、色鮮やかにするために、コンピュータディスプレイやテレビに使用されているカラー CRT には、シャドウマスクが付いている。シャドウマスクは、いくつもの微細な穴のあいた金属板で、表示管の内部で、蛍光体を塗布したフェイスからほんの少し離れた位置に置かれている。

電子ビームが1色の蛍光体ドットだけに当たるようにするために、CRT画面を覆う蛍光体ドットとシャドウマスクの穴の配列は厳密に決まっている。こうすれば、ほかの2色のドットはマスクの"シャドウ(陰)"になって、電子ビームが当たらなくなるわけだ。

シャドウマスクの穴の間隔は、表示画像の品質を大きく左右する。CRT画面上の蛍光体ドットの間隔とマスクの穴の間隔は、完全に同じでなけれ

ばならない。ドットの間隔は穴の間隔によって決まることから、この間隔をCRTのドットピッチと呼んでいる。

CRT のドットピッチとは、単に同色の 2 ドット間の距離の測定値で、管のサイズや表示画像のサイズとは無関係の絶対測定値である。

シャドウマスクは2通りの形でモニタ画像の明るさに影響を与えている。まず、マスクの穴のサイズによって、蛍光体に向かう電子ビームのサイズが制限される。電子ビームが電子銃の軸線から外れる、つまり、画面の角の方向に行くと、電子銃から見たマスクの穴の形が卵形となり、透過するビームは少なくなる。このため、画面の角は中心部に比べて、輝度としては明確に区別できるほどの差はなくても、鮮明度は劣る場合が多い。

また、マスクによって、CRT内での電子ビームの強さも制限される。ビームが強くなればなるほど画像は明るくなるが、エネルギー量もまた大きくなるため、ビームがマスクに当たると、そのエネルギーの一部はマスクに熱として吸収されて、マスクの温度が上昇する。この温度上昇によってマスクには予測不可能な膨張が発生し、ごくわずかだがマスクが歪み、結果として画像をぼやけさせることになる。こうした熱を誘因とする画像のぼけを最小限に抑えるために、モニタメーカーはシャドウマスクの原料を、熱膨張率が最も小さい合金であるインバール鋼 (不変鋼) に切り換えつつある。

アパチャグリル

シャドウマスクにおけるこれらの問題については、誰かからもっと良いアイディアが出てくることが待ち望まれていた。この期待に応えたのがトリニトロンブラウン管を発明した Sony である。

トリニトロンは、マスクの代わりにアパチャグリルと呼ばれる、並行に横に並んだワイヤの間の 隙間を利用している。ブラウン管の内側の蛍光体は、加法混色の3原色がストライプ状になるよう に塗られている。

シャドウマスクが電子ビームを遮って、側のドットに当たらないようにしているのと同じ仕組みで、 グリルワイヤが電子ビームを遮って、隣りのスト ライプに当たらないようになっている。同色の前後2つのストライプ間の距離は、ワイヤの隙間の間隔、すなわち、ブラウン管のスロットピッチによって決まる。電子ビームは電子銃から遠ざかるにつれて扇形にひろがるのに対し、蛍光体のストライプと電子銃の間にはグリルワイヤがあるため、必然的にストライプ間の間隔はスロットピッチよりもわずかに広くなっている。このストライプの間隔をスクリーンピッチという。たとえば、スロットピッチが 0.25mm のトリニトロンであれば、スクリーンピッチは 0.26mm になっている。

アパチャグリルのワイヤはきわめて太く、スロットピッチの約3分の2ほどの厚みがある。たとえば、スロットピッチが0.25mmのトリニトロンでは、グリルワイヤは直径が約0.18mmあるのだ。グリルワイヤは強く張られてはいるが、このままでは振動してしまう可能性があるため、トリニトロンモニタには、画面上に細いテンショニングワイヤが水平に1本か2本張られている。このワイヤはとても細いのだが、どうしても画面上には影が出てしまい、特に画面の背景が薄い色の場合に最も濃く現われてしまう。テンショニングワイヤの影が目障りに感じる人もいるので、購入前には画面に近づいてよく見ておくべきだろう。

トリニトロンは、理論的には、明るさの点ではシャドウマスク管より優れている。グリルの隙間のほうが、シャドウマスクの小さな穴よりも電子を多く画面へ通すため、トリニトロンのほうが(理論上は)明るい画像を作成できるのである。ただし、この付加されるはずの輝度については、実際には証明されていない。しかし、トリニトロンは画面全体を万遍なく明るくするという点では、シャドウマスクより優れているのはたしかである。これは、トリニトロンのアパチャグリルは1次元でしか電子ビームを遮っていないため、画面の角でも電子ビームを遮る大きさは変わらないからである。

Sony は基本特許によって、トリニトロンの設計に対する独占的な権利を持っていたが、これらの特許が1991年に期限切れになるに伴い、ほかのメーカーが素早くその技術を利用し始めており、市場に登場するアパチャグリルのカラーモニタの数は、今後一層増えてくることが期待される。

ドットピッチ

使用している技術がドットピッチに基づくシャドウマスクか、スロットピッチに基づくアパチャグリルかにかかわらず、画面上の画像のトライアドの間隔は、モニタの品質を決める重要な要素である。モニタはマスクの穴やグリルの密度以上にドット密度を上げることはできない。コンピュータシステムにおけるある解像度に必要なピッチを計算するのは簡単で、画面サイズを表示に必要なドット数で割るだけでよい。

たとえば、VGA テキストディスプレイには幅が 9 ドットの文字列が 80 桁あるので、画面の横幅は 720 ドットである。これに対し、典型的な 12 インチ (対角線の長さ) モニタ画面は横幅が約 9.5 インチ、すなわち、240mm である。したがって、VGA テキストイメージを正しく表示するためには、画面の全幅を表示に使用すると仮定すると、ドットピッチが 0.333 (240/720) mm 未満でなければならない。しばしばモニタの画像が画面全体の幅よりもいくぶん小さいことがあり、このようなディスプレイの場合は、さらに小さなドットピッチが要求される。逆に大きいディスプレイになると、一定の解像度に対するドットピッチは粗くなる。

画面の曲率

ほとんどのCRT はある決まった独特の形をしている。CRT の片方は細い首状になっており、そこには電子銃が収められている。またその周りには、電子ビームを曲げて真空管のフェイスの内側を走査させるための磁界を作り出す偏向ヨークがぴったりとはめ込まれている。真空管はヨークから漏斗のように広がり、最終的には画面となる四角いフェイスを形成している。多くの場合(ただし、現在ではかつてほど一般的でないが)、このフェイスは曲線を描く球面になっている。

フェイスが曲面になっているのには2つの意味がある。まず、曲面にすることで、電子ビームがフェイスに到達するまでの距離を、端でも中心でも、いずれの位置をとっても一様になるようにしているのである。平板な画面だと、中心部よりも端のほうがビームの移動する距離が長くなり、また、ビームが画面のフェイスに斜めに当たるため、

画像の歪みが生じてしまう。この歪みは電気的に 補正できるが、画面が曲面であれば、補正ももっ とスムーズのできるのである。

また、CRT は真空状態になっているため、真空管を押しつぶそうとする通常の大気圧の力が常に真空管に働いている。球面であれば、この潜在的な破壊力が真空管の全面へ一様に分散されるため、相対的に真空管を強くできるのである。

画面が曲面であるということにはマイナスの作用も伴う。画面の直線がまっすぐに見えるのは一ヶ所の視点からだけで、頭を画面に近づけたり、遠ざけたり、横に動かしたりすると、まっすぐだと思っていた線が様々に曲がって見えるのである。この効果は写真に撮ってみるとよくわかる(人の目は曲線に順応してしまい、直線だと錯覚してしまうため)。

これに対し、インラインガンのような配置であれば、真空管の構造とアラインメントがかなり簡略化されるため、円筒状に曲がった画面が適している。円筒状の画面だと、画像は縦もしくは横の軸にしか曲がらないため、曲線に伴う問題が少なくてすむ。トリニトロンは画面が円筒状になっているのが特長である。一方、シャドウマスクのブラウン管の画面は曲面になっている。

しかし、技術の進歩により、どうしても画面を 曲面にしなければならないという理由はなくなっ ている。ここ数年で、真平らな画面を作る上で技 術的障害となっていた要因が克服されたのである。 現在では数多くのメーカーからフラット画面のモ ノクロディスプレイが販売されている。

カラーのフラット画面としては、Zenithのフラットテンションマスクシステムが最初である。テンションマスクは、シャドウマスクを引っ張ることによって、カラーのフラット画面システムに内在する構造上の諸問題を解決している。また、その平面のフェイスと黒いマトリックスは目にも鮮やかな画像を作り出すのに貢献している。ただし、画面が目に心地好いのとは対照的に、モニタのケースはかさばって見栄えがせず、最初の機種が内蔵していたファンの音は聞き苦しいものだった。このモニタの電力消費量は減少してきてはいるが、価格面では相変わらず在来型の機種よりも高価で

ある。

解像度とアドレス可能度

ビデオシステムの解像度とは、表示可能な画像 細部の細かさのことである。解像度は、画像を構成しているひとつひとつのドット数に直接結びついた結果であり、画面サイズとドットピッチの関数である。

ドットのサイズと個数によって画質の限界が決まるため、画像の鮮明度は、画面の縦横に表示することができるドット数で表わすことができる。たとえば、IBM の VGA が標準グラフィックモードで必要とする解像度は横 640 ドット、縦 480 ドットである。XGA ディスプレイシステムの場合、最高解像モードでは 1024×768 ドットの画像を作り出す。

ところが、画面上で得られる解像度とコンピュータのディスプレイアダプタから得られる解像度が異なることがある。たとえば、カラーテレビの解像能力を高めるためのビデオモードが、コンピュータモニタから本来得られる画質を引き出していることはほとんどない。また、コンピュータで作成したグラフィックスが、現在使用しているディスプレイよりも高解像度の機種用のものである場合もあり得る。仮に、価格が高いモニタの代わりにテレビを使ってみると、実際に目に映る鮮明さは、ビデオシステムで見る解像度よりも悪くなってしまうのである。

実際の解像度は、使用しているビデオディスプレイシステム、すなわち、モニタの物理的な品質である。つまり、ビデオディスプレイシステムによってディスプレイの品質の限界が決まるのである。カラーのディスプレイシステムでは、解像度を主に制限しているのは純粋に物理的要因、つまり、システムのコンバージェンスとブラウン管のドットピッチの2つである。画質を制限する要因の1つであるシャドウマスクがないモノクロシステムの場合、解像度はモニタの帯域幅、すなわち、モニタの取り扱える最高周波数の信号により制限される(細部が細かくなるに従い、コンピュータシステムからモニタに送られる信号に多くの情報が詰め込まれることになり、一定時間内に送る情

報が多くなるに伴い、信号の周波数は高くなる)。

モニタの画質を表わすのに、頑強に**アドレス可** 能度という紛らわしい用語を使っているメーカー もわずかながらある。アドレス可能度とは、基本 的にカラーモニタの帯域幅の測定値のことである。 つまり、モニタが画面上のドットに対して、どれ だけの精度で電子銃を向けることができるかを表 わしたものである。ただし、この定義では、シャドウマスクが加えている物理的制限は無視されている。いいかえれば、アドレス可能度は、モニタがどのぐらいの品質の信号を取り扱うことができるかを表わしたものであるが、その信号の品質は必ずしも完全に画面上で実現されるわけではない。

14.2 グレア防止処理

そもそもほとんどの鏡はガラスで作られており、ガラスは鏡のような働きをすることがよくある。たとえば、空気の屈折率とガラスの屈折率は異なるため、ガラスは必然的に光を反射する。鏡を作る場合には、この特性はたいへん有効であるが、ガラスを使ってモニタを作り、そのモニタを使用する場合には、このガラスの反射性は大きな頭痛の種となる。CRTのガラスのフェイスに反射した部屋の光や窓の光の反射光が、ブラウン管の内側の蛍光体の発光よりも明るくなるという現象が容易に発生し、その結果、画面の文字や図形が"あせて"見えたり、反射光の明るさでぼんやりしてしまったりすることがよくある。

モニタ画面の曲率が大きくなればなるほど、画面が反射する範囲も大きくなるため、それだけ反射にからむ問題が発生する可能性が高くなる。商店で万引きを監視したり、U字形の曲がり角で対向車の存在を知らせる道具として、全景を映し出す大きな凸面鏡が使用されているが、球面のフェイスはその凸面鏡と同じ働きを持っている。したがって、逆にモニタの画面が平らに近くなれば、それだけ悩みの反射も少なくなり、完全に平面の画面なら、モニタの画面の向きを少し変えるだけでグレア(光輝)や反射を避けることも可能である。

モニタ画面の曲率はユーザー自身は変えることはできない。しかし、救いの手はある。グレア防止処理を施せば、ほとんどの CRT 画面の反射を減少または除去することができる。グレアを減らす方法にも様々なものがあり、以下にそのいくつ

かを示すが、効果はそれぞれによって若干の差が ある。

メッシュ

最も簡単で、最も費用がかからないグレア防止処理は、通常はナイロン製であるメッシュを画面につけることである。メッシュの取り付けは、直接画面上に重ねるか、取り外し可能なフレームに入れて、画面の約0.5インチ前方にはめ込むかのいずれかになる。メッシュの穴はひとつひとつが短い管のような働きをしており、管を通してまっすぐからは画面が見られるが、横から来る光は管で遮ることができるという仕組みである。

この方法は簡単な割にはたいへん効果的である。 市場に出ている最も安いグレア防止メッシュには、 パンティーストッキングを引き伸ばしたようなも のもある。

機械的なグレア削減法

グレアは機械的な方法によっても減少させることができる。機械的な方法といっても、メッシュのようにグレアが画面に達する前に自動的に遮断するのではなく、画面の表面に機械的な処理を施すのである。CRT前面のガラスを軽く研削して、光を反射するのではなく、むしろ光を拡散するように変えることができる。この機械的な研削加工によって生じる画面上の粗い目が、それぞれ勝手に光を反射し、あらゆる方向へ光をまき散らすのである。表面が滑らかな画面だと、鏡のように

条の光をそのまま反射してしまうため、まぶしい 光源が目に反射されてしまうが、研削したガラス に反射した光は拡散されて消散するので、目に到 達する光が少なくなり、グレアもまぶしくなくな るのである。

コーティング

CRT 画面にコーティング材を施すことによって グレアを減少させることができる。使用できるコー ティング材には2種類がある。1つは、CRT 画面 にきめの粗いフィルムを形成するもので、このよ うにして作られたきめの粗い表面は、研削したが ラスと同様の働きをして光を拡散する。

また、フッ化マグネシウムなどの特殊な化合物を画面に塗布してもよい。このコーティングの厚さを精密に制御すれば、画面の表面の反射率を減少させることができる。フッ化物のコーティングは、光(通常スペクトルの中心の光)の波長の4分の1の厚さになっている。フッ化物を通り抜けて画面に反射する光は、フッ化物の表面に当たった時とは別の位相になってコーティングに現われるため、視覚的にはグレアがなくなって見えるのである。カメラレンズもこれと同じ原理を用いて、コーティングを施して反射光を除去している。

偏光

光は偏光させることができる。つまり、光子を1つの面の振動に限定することができるのである。 偏光板を使えば、一方向に偏光した光だけを通過させることができる。したがって、2枚の偏光板を双方の偏光面が平行になるように並べれば、1枚の偏光面の光しか通過せず、同様に、2枚の偏光板の偏光面が相互に直角をなすように配置すれば、光を完全に遮断することができる。最初の偏光板が一種類の光だけを通過させ、2枚目の偏光板はこれとは異なる種類の光だけを通過させるのだが、2枚目の偏光板には最初の偏光板を通過し た一種類の光しか到達しないので、2枚目のフィルタを通過する光がまったくなくなるのである。

光は表面で反射すると、偏光方向が90度移動する。この物理学の原理によって、偏光板がグレア削減の極めて有効な手段となっている。

1枚の偏光材質が画面のすぐ前に置かれている。 グレアの原因となりうる光は画面を通り抜けて、 偏光される。その光がディスプレイに当たって反 射すると、偏光方向が90度移動する。その光が再 度フィルタに到達したときには位相が変っている ので、フィルタを通り抜けることができない。こ れに対し、ディスプレイから発する光は1度だけ フィルタを通り抜ければよい。画面からの発光は 偏光されるが、その光を目から遮る2番目のフィ ルタはないというわけだ。

グレア防止処理はいずれも何かしらの欠点があ る。メッシュの場合、輪郭がなだらかな文字などは メッシュのセル(仕切られた小さな穴)構造によっ てばらばらにされてしまうため、鮮明であるはず の画面がぼやけて見えてしまう。機械的な方法に よる処理を行えば費用が高くかかり、しかも画面 が少しぼやけたり、焦点がずれて見える傾向があ る。光の拡散原理に基づくコーティングについて もこれと同じことが当てはまる。また、光学コー ティングや偏光フィルタ、またメッシュでさえも、 それ自体が反射する光の問題を抱えている。グレ ア防止材質自身が、わずかながら自分からグレア を発していることもあるのだ。さらに、いずれの グレア防止処理でも、また、偏光板は特に、表示 を薄暗くさせてしまう傾向がある。実際、ディス プレイの明るさは、偏光板によって、処理を施し ていないときの4分の1にも減少する。

しかし、こうした欠点があっても、グレア防止 処理の効果は驚くほど高い。目の疲労感をやわら げ、コンピュータを長く使っていると生じる頭痛 を取り除くことができるのである。

14.3 オーバースキャンとアンダースキャン

コンピュータディスプレイはほとんどの場合、画面サイズの規格が定められている。テレビと同様に、コンピュータモニタの画面のサイズは、陰極線管(CRT、ブラウン管)のフェイスの対角線を計測したものである。したがって、12 インチモニタなら、その有効表示域は 9×7 インチよりもいくらか小さくなる。

画面が同じサイズの2つのモニタでも、画面上の画像サイズがまったく違うこともある。コンポジットモニタはしばしばオーバースキャンに悩まされる。これは、モニタが画面サイズよりも大きな画像を作り出そうとしてしまうことで、有効表示域の端や角の部分で画像が途切れてしまうのである(オーバースキャンは多くの場合、モニタ内部の部品が古くなって弱くなるに従い画像が縮小することを想定して、始めからわざと組み込まれ

ている)。**アンダースキャン**は、画像が公称の画面 サイズよりも小さくなるというオーバースキャン と反対の状態である。

オーバースキャンは、特定のディスプレイにあらかじめ組み込まれている場合などでは、完全に正常な状態であり、必ずしも問題ではない。画像の形状は画面の端よりも中心近くのほうが制御しやすい。画像を制御して、直線が実際にもまっすぐな線に表示されるようにすることができる。極端なオーバースキャンは、画像が圧迫するような印象を与え、逆効果になる場合がある。オーバースキャンが過度であれば、支払った代金よりも実際には小さなディスプレイを手にしていることになる。モニタを比較するときは、画面サイズよりはむしろ表示されている実際の画像サイズを考慮すべきである。

14.4 アスペクト比

モニタ画面の幅と高さの関係をアスペクト比(縦横比)という。現在、ほとんどすべてのモニタの画面形状は、画面の奥にあって画像を作り出している CRT の形状と同様に標準化されている。画面は、幅が高さの1.33 倍で、ワイド画面が優勢になる前にテレビや映画で採用されていたアスペクト比と同じ4:3 である。

しかし、画面上の画像は管と同じアスペクト比である必要はない。水平走査と垂直走査の信号を生成している回路は、モニタの電子回路とは別になっているので、それらの信号は個別に制御されている。したがって、両者の関係は調整が可能であり、調整によって実際に表示される画像のアスペクト比を変更できる。たとえば、水平信号の振幅を増幅すれば、画像の幅は引き伸ばされ、アスペクト比は大きくなる。

通常の場合は、水平信号と垂直信号の相対的な

利得(振幅)は、正しいアスペクト比で画面上に表示されるように調整されると思ってよい。しかし、ディスプレイが異なる規格に基づく信号を表示しようとすると、問題が生じる。この不一致は特に VGA ディスプレイの場合はやっかいである。 VGA 規格では、それぞれまったく別の3種類のラインカウント(350本、400本、480本)で画像を作成するようになっているからである。

ほかはすべて同じなら、350本の線で作成されている画像は、480本の線で構成されている画像の高さの4分の3以下となる。したがって、VGAディスプレイでEGA互換モードを使って図形を作成すると、その図形は押しつぶされたようなものになってしまう。円を描いても楕円のように見えてしまい、オレンジも瓜のようになってしまうのだ。

画像サイズ

IBM のモニタは同期信号の極性を判別すること (ポラリティ)によって、こうした画像のつぶれを 補正している。水平同期信号および垂直同期信号 がどのような極性で入力されているかによって、どのモードおよびどのラインカウントで画像が設定されようとしているかをモニタに知らせる。 そうすると、画像のライン数に関係なく正しいアスペクト比にするために、モニタは垂直方向の利得を調整することによって補正を行うのである。

すべてのモニタが IBM の同期信号システムを 利用しているわけではなく、そういうモニタでは 表示モードを切り換えると、押しつぶされたよう なグラフィックス表示になる。一方、オートサイ ジングと呼ばれる技術を使っているモニタもある。 これは、ディスプレイアダプタがどのようなビデオ 信号をモニタに送っていようとも、つまり、VGA 同期信号判別に関係なく、モニタが一定の画像サ イズを維持できる技術である。モニタメーカーは いくつかの異なる方法でオートサイジングを実現 している。真のオートサイジングは、モニタに送 られる信号の種類にかかわらず動作し、ラインカ ウントに適合した大きさに画像を縮小拡大する。 モード感知オートサイジングは、信号の周波数か ら画像に使われている表示モードを決定し、その 信号のラインカウントに適合するように、サイズ をあらかじめ設定された標準に切り換えている。 VGA 同期信号判別をモード感知オートサイジン グと組み合わせているモニタが多い。

画像制御

いくつかのモニタ(大多数というにはほど遠いが)では、つまみを回すだけでアンダースキャンやオーバースキャン、異常なアスペクト比に対処できるようになっている。これらのディスプレイには、縦横サイズ(利得)調節つまみがあり、これらのつまみで自分の好きなように画像のサイズと形状を調節することができる。たとえば、(十分な調節幅があればの話だが)実際の画像が画面枠の上下左右一杯まで届くように拡大したり、ディスプレイの明るい表示域を画面中心に向かって小さく縮小(ただし形状は完全なままで)することも

できる。

サイズと位置を調節するつまみで、モニタの画像をどれくらいの大きさにするかを自由に選択できる。調節幅が十分あれば、画面の隅から隅まで一杯になるまで画像を拡大することも可能だし、また、ブラウン管の端近くではどうしても形状の歪みが生じるので、その歪みを最小限に抑えるために、画像を縮小することもできる。モニタには水平位置(位相)、垂直位置、水平サイズ(幅)、垂直サイズ(高さ)の調節つまみがあれば十分だ。

調節幅は広いほうがよい。1個または数個の調節つまみを節約して、画面上の画像の大きさを調節する範囲を狭めているモニタがある。さらには、調節つまみがまったくないモニタすら見かける。たとえば、水平サイズ調節つまみのないモニタだと、画像のサイズもアスペクト比も調節できないということになる。

これらのつまみの位置として最適なのは、フロントパネル部分である。ここにあれば、画像を見ながらつまみを調節できる。つまみが後部パネルに付いていると、結果を確かめながら調節するには、モニタの後ろまで回せるゴリラのように長い腕が必要になる。

モニタに付いている画像調節つまみには、アナ ログ式とデジタル式の2種類がある。アナログ式 調節つまみは、旧式のテレビによく見かけるお馴 染みのつまみのことである。一方向に回すと画像 が大きくなり、反対方向に回すと小さくなる。ア ナログ式調節つまみには長所が1つある。つまみ が回転範囲の限界まで左右いずれの方向に回され ていても、つまみを見ればどこに設定してあるか 判るという点である。つまみ自身が簡単な記憶装 置であり、一度設定すると、次に動かすまでその 位置に設定されたままである。ただし、アナログ 式調節つまみは日が経つにつれて汚れたり摩耗す るという欠点がある。また、通常1つのつまみに は1つの数値しか設定できないため、その1つの 数値でモニタのすべての操作モードをカバーしな ければならない。

一方、**デジタル式調節つまみ**は、画像のパラメータをプッシュボタンで調節できる。1つのボタンを押すと、画像が大きくなったり、左へ移動した

りする。もう1つのボタンは、それと反対方向に 補正を行う。各モニタが表示できるあらゆるビデ オ規格に対応して、様々な画像の高さと幅をあら かじめ設定できるように、通常デジタル式調節ボ タンは、マイクロプロセッサ、メモリ、モード感 知回路と連結されている。

デジタル式調節ボタンは年月が経ってもノイズが発生せず、アナログ式よりも信頼性が高く、反複使用が可能だが、設定範囲のどの位置にあるかがまったく判らない。ほとんどは二段変速操作になっており、一瞬だけ押さえると微細な変更を行い、ボタンを押し続けると、変速して大きな変更を行う。もちろん、変速することを知らないと、希望する設定を過ぎてしまったり、希望する正確な設定に修正するのに時間が少し余分にかかることになる。

サイズや位置の調節つまみは、LCDやそれに代わる類似のディスプレイ技術には関係ない。LCDパネルの場合、ディスプレイメモリとの接続が直接的なため、メモリロケーションが画面上の各位置にほぼ正確に対応しているからである。画像はそれを構成しているメモリロケーションに永久に固定されているので、画像を動かしたり、形状を変えたりする必要はない。

CRTを基盤にしたディスプレイもまた、ほとんどがその先祖であるテレビからいくつかの調節つまみを引き継いでいる。ほとんどすべてのコンピュータモニタには、輝度調節つまみが付いてお

り、このつまみを使って、画面を走査する電子ビームのレベルを調節して、画面上の画像を明るくしたり、暗くしたりできる。コントラスト調節つまみは、入力された信号と画像の明るさとの関係の線形性を調節する。信号レベルが異なることから派生する輝度の相互関係、すなわち、高輝度はどれぐらい明るくするかということを調節するのである。輝度調節機能とコントラスト調節機能を1つの"画像"調節つまみにまとめたディスプレイもいくつかある。2つのつまみをあれこれ調節するのに混乱してしまう人たちには天の賜物ではあるが、こうした一体型のつまみは、画像を調節する際の融通性に限界があるという欠点もある。

テレビには必ず装備されているほかの調節つまみは、通常高級なコンピュータモニタでも付いていない。付いていても意味がないからである。垂直同期や、カラー(色純度)、色合いを調節するつまみは、コンポジットビデオ信号にしか関係ないので、コンポジットインターフェイスディスプレイにしかない。垂直同期調節つまみは、不安定なコンポジットビデオ信号からの垂直同期信号を最もよく解読できるように、モニタを調整するものである。ほかのディスプレイ規格が使用している別の同期信号は、自動的に不安定さを取り除いている。カラーと色合いの調節つまみは、カラーサブキャリアと残りのコンポジットビデオ信号との関係を調節するだけで、コンポジットモニタでなければ意味のないものである。

14.5 フラットパネルディスプレイシステム

重さが40ポンドもあった第一世代のポータブルコンピュータを携帯したことのある人なら誰でも知っているように、CRT はポータブルコンピュータには不向きである。ブラウン管のガラスだけですでに現在のポータブルコンピュータより重く、また CRT の駆動には、ラップトップやノートパソコンの回路と周辺機器全体に配分されている量を超える電力を消費する。

ラップトップタイプのパーソナルコンピュータの設計に当たったエンジニアたちは、ブラウン管の代わりに利用できる、ありとあらゆる代替技術を試してきた。この中には、80年代にはパワーオン状態のインジケータとして使用された、悪魔の眼のように赤く光る発光ダイオード(LED)を詰め込んだパネルも入っている。しかし、LEDはとてつもない量の電力を消費する。一般的な普通サイ

ズの LED1 個で輝度を最高にすると 10~100mW も消費するため、ディスプレイの画面には約 10 万 個の画素が必要だということを考えると、問題の大きさがどんなものかわかるだろう。確かに、LED 画面の個々の画素は、パワーオンのインジケータとして使用されるものより小さく、電力消費量も少ないが、ポータブルコンピュータの初期に作られた小さな LED ディスプレイは、現在の技術水準で必要とされる電力の何倍もの量を消費していた。また LED は、明るい光の中では画像が色あせする傾向があることや、大きな配列を構成すると費用が相対的に高くなるという問題もある。

これに代わる1つの方法として、高電圧をかけてガスをイオン化して発光させるプラズマスクリーンがある。プラズマスクリーンは、内部にネオンガスを使用しているため、ほとんどがネオン特有の赤味がかったオレンジ色の発光色である。プラズマディスプレイは、ラップトップコンピュータの画面にちょうどよい程度の大きさに作るのが比較的簡単で、しかも競合するどの技術にも負けない鮮明度を持っている。しかし、プラズマスクリーンも、LCD技術が必要とする量の数倍にのぼる多量の電力を必要とし、しかも高電圧が必要なため、主としてAC電源を使用するポータブルコンピュータで使用されている。これをラップトップコンピュータに使用すると、電池寿命が非常に短くなり、1時間程度になってしまう。

ディスプレイ技術競争の勝利者は、一般に LCD という略語で呼ばれている液晶ディスプレイである。LED ディスプレイやプラズマディスプレイは可視光の光子を放出して自力で発光するが、LCD はこれらとは異なり、発光のために電力を消費しない。自力で発光しない代わりに、LCD は別な形で得た光をただ単に遮断しているだけである。LCD の仕組みでは、自然光や室内の光源の反射光(反射光を使用するタイプの LCD を反射形 LCD という)か、もしくは、LCD パネルの背後(バックライト LCD) や LCD パネルの近く(エッジライトLCD) にある二次光源からの光を、部分的に遮ることで画像のパターンを目に見えるようにする。バックライトの光源で一般的なのがエレクトロルミネセント(EL)パネルであったが、最近では、表示を

もっと白く明るくするために、光源に**冷陰極蛍光** 管 (CCF: Cold—Cathode Fluorescent) を使っているラップトップコンピュータもある。ただしその場合、高価で、厚みも増し、複雑な機構になるという代償が伴う。

LCDパネル自体に使用されている技術を表わすのに、"スーパーツイスト(super-twist)"、"ダブルスーパーツイスト(double-supertwiat)"、"トリプルスーパーツイスト(triple-supertwist)"など様々な用語が多数く使われている。実際に、結晶をねじる(ツイストする)ことによって、画面のコントラストが制御されており、トリプルスーパーツイストだと、通常のスーパーツイストよりもコントラストがはっきりしている。

ラップトップとノートパソコンの歴史は、LCD 技術の革新に導かれてきた。1960年代にRCA社 が開発したLCDは(General Electric 社は現在で もRCAの基本特許の使用料で利益を得ている)、 電力使用量が少なく、しかも軽量で丈夫であった ため、ラップトップコンピュータに使用されてそ の真価が認められた。

実際の LCD は、細長い棒状の分子、すなわち、 "ネマティック"形の分子で構成された特殊な液体 を、2枚のガラス基板で挟み込んだサンドイッチ のような形状をしている。液晶のネマティック分 子が持つ重要な特性は、ガラス基板上に形成され た溝に並べて、透過する光の方向を曲げることが できるということと、さらに液晶分子に電圧を印 加すると分子のねじれの状態が変化し、光の透過 率を変えることができるということである。

通常の光には特定の方向性はない。したがって、液晶も光の方向を変えるわけではない。偏光とは光子の振動が一方向に揃ったもので、また、偏光板は、特定方向の光 (特定の振動軸を持った光)のみを透過させることによって偏光を作り出すものである。この偏光という働きが LCD の表示機能のポイントになる。

LCD の原理はおおよそ次のようなものである。 まず光を1枚目の偏光板にかけて偏光させる。2 枚目の偏光板は、1枚目の偏光板の反対側にあっ て、最初の偏光方向に対して直角方向の光を通過 させるように置かれている。普通であれば、最初 の偏光板を通過した光は2枚目の偏光板ですべて 遮られることになる。しかし、最初の偏光板を通 過した光は液晶を通るときに、液晶の分子によっ て方向が曲げられ、2枚目の偏光板と一直線にな るように向きが変わり、2枚目の偏光板も透過す る。液晶に電流を流すと、分子のねじれの状態が 変化し、結果として2枚目の偏光子を透過する光 の量が変わる。

LCD ディスプレイを作る際には、液晶を小さな 区域に分けて、どの区域に電流を流すか選択でき るようにするだけでいい。前述の原理により、電 圧を印加した区域は暗くなり、電圧を印加しない 区域は明るくなる。こうして画像パターンが形成 されるのである。LCD の背後に光を置くと、白黒 のコントラスト比が大きくなる。

過去数年間にエンジニアたちは、LCDのこの基本設計にいくつか改良を加えて、コントラストとカラー表示を向上させてきた。先にその概要を触れたLCDの基本的な設計は、技術用語でツイストネマティック技術、または頭文字をとってTNと呼ばれている。TNディスプレイの液晶分子は電圧を印加されない状態では、ディスプレイを構成している直交する2枚の偏光板に正確に対応して、光を90度曲げる。

ネマティック分子による光の屈曲角度を大きくすると、明暗のコントラスト比を大きくすることができる。光を180~270度屈曲させるLCD設計は、"スーパーツイストネマティックディスプレイ"または単にスーパーツイストディスプレイという。ねじれを大きくすることで生じる副作用は、色が人工的になってしまうことで、結果として普及している多くのLCDの表示は、黄色がかった緑色か、明るい青色のいずれかの色合いとなっている。

このような表示の色合いは、2つのスーパーツイスト液晶を背中合わせに取り付けて、1つの液晶がもう1つの液晶とは反対方向に光を屈曲させることによって、取り除くことができる。この設計は "ダブルスーパーツイストネマティックディスプレイ"または略してダブルスーパーツイストディスプレイと呼ばれている。現在この LCD 設計は、VGA クラスの白黒ディスプレイを搭載したラップトップコンピュータで一般的に使用されている。た

だし、この設計にも固有の欠点がある。ユーザーと光源との間に2つの層があるため、表示が暗くなってしまうのである。これを避けて、適度な鮮明度にするには、もっと明るいバックライトが必要になる。

トリプルスーパーツイストネマティックディスプレイでは、液晶の両側をポリマーの薄膜とすることで、スーパーツイスト設計において表示が一定の色合いになってしまう問題を補正している。両側の膜は、ダブルスーパーツイストの2つのパネルに比べて吸収する光の量が少いため、画面を同じ明るさにするのに要するバックライトの明るさと電力が少なくて済むのである。

ネマティック分子の向きを揃える電流がどのように加えられているかによって、LCDは2つの方式に分かれる。ほとんどのLCDパネルでは、伝導体が格子状に並んでおり、各画素はこれらの伝導体の交差点にある。伝導体によって液晶に電流を送るだけで画素は暗くなる。このタイプのディスプレイをパッシブマトリックスディスプレイという。

この方式に代わるアクティブマトリックスは、 一般的には薄膜トランジスタ (TFT) 技術と呼ばれ ることが多い。この方式の LCD では、各画素ご とにリレーの役割を果たすトランジスタを設ける。 縦横の格子によって少量の電流をトランジスタに 送ると、トランジスタがもっと高い電流に変換し て流し、LCDの画素を活性化させる。アクティブ マトリックス方式の長所は、格子に流す電流が少 なくてすみ、画素の点滅速度を早めることができ ることである。パッシブ LCD 画面の場合、更新 速度は毎秒約6回程度と思われるが、TFT方式 ではその10倍の速度となり、普通のモニタと変わ らない動作速度である。速度が向上するというこ とは反応速度が向上するということであり、たと えば、マウスを画面一杯に動かしても、カーソル が消えたりしなくなる。

TFT 方式の欠点は、スクリーン上の各画素ごとに、1つずつトランジスタを作り込む必要があるということである。トランジスタを各画素ごとに配置するためには、LCD と半導体の各製造工程を結合する必要があるが、これは、れんが職人と

大工とを一緒に働かせるようなものである。

これがカラーになると、設計と製造が複雑になるだけでなく、費用もかなり余分にかかる。その追加費用は、カラー LCD の付いたラップトップコンピュータ1台につき 2,500 ドルといった単位である。カラーの LCD 画面を作るために、数多くの技術が試されてきた。そしてその中でも最も顕著な結果は、TFT 技術とカラー表示を結びつけたときに現われた。これによって、価格は高いが、輝度が高く反応の早いディスプレイが実現されたのである。この方式を使った最高級のディスプレイの画像は確かに素晴らしく、しばしばカラー CRTよりも画像品質が良いことがある。ただし現時点では、興味はあっても購入するのには非現実的な価格帯である。

解像度は LCD 画面にとって重要な要素である。 解像度は、テキストの文字や図形がどのような鮮明度で見えるかを決定する。現在、解像度において支配的な規格は、 $CGA(640\times200)$ 、ダブルスキャン $CGA(640\times400)$ 、それに $VGA(640\times480)$ の3 つである。

これら3つの中でVGAは、現在最もポピュラーなデスクトップコンピュータのディスプレイとまったく同じ規格で、同じソフトウェアとドライバを使うことができるため、ほとんどの人に支持されている。

CGAの解像度は明らかに画質が劣り、文字はずんぐりとして読みにくいため、使用されているのは値段が最も安いラップトップコンピュータだけである。

ダブルスキャン CGA は、コストと解像度の間

でうまく妥協点をとったものである。事実、鮮明度はテキストモードの CGA に匹敵するほどである。広範なソフトウェアのサポートがないため、グラフィックスでは問題が出てくるが、Windowsの下では、ダブルスキャン CGA システムの多くが、東芝および AT&A の 640×400 ピクセルのドライバと互換性がある。

VGAは LCD ディスプレイの場合特殊な問題が発生する。VGA は名前は1つだが、実際には3つの規格が含まれており、それぞれ画面を350本、400本、480本という3種類の数の表示線で構成するモードで動作するからである。これに対し、ほとんどの VGA ディスプレイパネルは、480本のドット列による構成となっている。

本数の少ない表示線で作成した VGA の画像には 1 つの問題が生じてくる。ラップトップコンピュータの LCD 画面の多くは有効な線だけを表示し、画面の残りの部分を空白のまま残す。たとえば、表示線が 480 本の LCD で 400 本のモードを選んで表示した場合、残りの 80 本は空白のまま残されてしまい、結果として画面の上下には黒い帯が表示されるのである。

VGA テキストは普通 400 本のモードで表示されるため、この帯は余計に目障りとなる。多くのメーカーがこの状態の改善をはかって、VGA テキストを 640×480 モードに切り換え、もっと大きくて読みやすい文字を使って画面全体を埋めている。選択の自由があれば、恐らく次のラップトップとしては、この方法を採っているものが欲しくなるだろう。

14.6 モニタの電子回路

画面上に現われる画像は、ディスプレイシステム全体の物語のほんの一部にしかすぎない。パーソナルコンピュータからのビデオ信号は、モニタ内部の電子回路で増幅し、さらに処理を加えて、正しい画像を表示するために適切な強さとタイミ

ングの関係を達成しなければならない。

モニタ内の基本的な電子部品はビデオ増幅器である。名前から分かるように、この回路はコンピュータから受け取る約1Vの強さの信号を、陰極から 蛍光体へ電子ビームを打ち出すのに必要な数千ボ ルトの電圧へ増強 (増幅) するものである。モノクロのモニタにはビデオ増幅器は1つで、カラーモニタには3つ (3 原色の各色に1つずつ) ある。

アナログ式カラーモニタでは、3つの増幅器は 正確に整合され、完全にリニアでなければならない。つまり、各増幅器は入力と出力とが正確に比例し、しかもほかの2つの増幅器と増幅率が整合 していなければならないのである。この増幅器の 間の関係をカラートラッキングという。もしその 増幅率がそれぞれ異なると、画面上の画像の色が ソフトウェアの意図していたものと違ってしまう。

カラートラッキングが不完全だと散々な結果となる。カラーの制御に精度がなくなるからである。これは、とりわけデスクトップパブリッシングやプレゼンテーションといった目的で使用する際には大きな問題である。カラートラッキングが不完全だと、最終的に用紙上やフィルム上に出力される内容の正確な試写としての役割を、画面に望めなくなるのである。ビデオ装置で表示可能な色の種類のかなりの部分が失われてしまうことすらある。

これは、3つの増幅器間で増幅率に違いがあることによって、3原色の中の1色が強調されたり弱くなったりして、画像に微妙な明暗のむらを引き起こしてしまうためである。この明暗のむらは、灰色を表示している場合に最も顕著に表われる。灰色の色味が優勢な色に偏ってしまうのだ。

モノクロのディスプレイの場合には、カラートラッキングについて心配する必要はないが、それでも増幅器の品質によって、表示可能なグレーのスケール(白から黒までの濃淡)が決定される。増幅器に異常があると、モニタがグレーの階調の範囲の一部を失うことがある。

ビデオ増幅器の入力信号と出力信号との関係は、いつもリニアであるとは限らない。つまり、入力信号が変化したとき、それより大きな変化が出力信号に生じることがあるのだ。言い換えれば、モニタは入力信号のカラーあるいはグレーの階調の範囲を強調し、コントラスト比を大きくすることがあるのである。入力と出力との関係は増幅器のガンマという単位で表わされる。ガンマ値が1であれば、入力信号と出力信号とが正確に対応していることになる。ただし、ガンマ値が1のモニタ

は、画像がパステル画のようなぼんやりした色合いになりがちである。ガンマが高いほうが画像のコントラストが強調されるので、通常は1.5から1.8程度のガンマを好む人がほとんである。

現在の VGA、Super VGA、そしてこれらより ももっと鮮明度の高いディスプレイシステムだけ でなく、CGA や EGA といった古いグラフィック スアダプタとも互換性のあるモニタが欲しい場合 は、TTL入力互換機能を持ったモニタが必要とな る。現在のコンピュータモニタの大半はアナログ 入力だけなので、これらの古い規格が使用してい るデジタル (TTL) 信号は正しく表示することが できない。また、こうしたモニタの場合カラーサ ポートもチェックする必要がある。CGA 規格と互 換性を持つには、モニタは16色のデジタル入力を 処理できなければならない。ちなみに、この16色 のデジタル信号はこれを構成する4つの信号、す なわち、赤 (Red)、緑 (Green)、青 (Blue)、輝度 (Intensity) の頭文字をとって RGRI と呼ばれるこ とがある。EGA と互換性を持つには 64 色の表示 能力が必要である。

信号規格が複数ある現状では、幅広い同期周波数に同期できるということがモニタのほとんど必須に近い条件になっている。対応しなければならない周波数は2種類ある。1つは垂直周波数で、リフレッシュレートとかフレーム周波数と呼ばれることもあるが、これによって画面の更新頻度が決まる。もう1つは水平同期周波数(水平走査速度)で、これは画像を形成する1本1本の走査線を描く速度を表わすものである。

これらの周波数の範囲によって、モニタがどの ビデオ規格と互換性を持っているかが決まるため、 ユーザーにとって重要である。IBM の CGA では、 15.75kHz の水平周波数が必要である。MDA では 18kHz、EGA では 22kHz、VGA では 31.5kHz の水平周波数が必要である。Super VGA の解像度 では、水平周波数は、使用されているリフレッシュ レートによって異なる。56Hz のリフレッシュレー トであれば 35kHz が適当だが、VESA の 72Hz 仕様になると 48kHz が必要である。

通常、必要とされる最低のリフレッシュレートは、MDA信号によって使用されている50Hzで

ある。VGA やほかのビデオ規格のほとんどが使用しているリフレッシュレートは、60Hz から 70Hz の間である。

IBMの8514/AなどのインタレースシステムやXGA 仕様を初めて実現した機種には、帯域幅を制限した信号を使って画面上に多くの情報をのせられるように、テレビのために開発されたトリックが採り入れられている。トリックとは次のようなものである。画像を上から下へ1本ずつ走査する代わりに、画像の各フレームを半分に分解して、2つのフィールドにする。一方のフィールドは奇数番の表示線で構成されており、もう一方のフィールドは偶数番の表示線で構成されている。電子ビームは画面を上から下へ走査していく際に、表示線を1本おきに照射する。下まで照射したら、もう一度上に戻って、今度は最初の走査で照らし残した表示線を照射して全体の走査を終える。

この技術による成果は、フレーム周波数が 2 倍になることである。画面を毎秒 30 回 (普通のテレビのブラウン管の場合) 走査する代わりに、上から下への走査が毎秒 60 回になる。毎秒 30 回のフレーム周波数だと目につくフリッカも、毎秒 60 回になると感じなくなる。しかし、簡単にはだまされない目を持った人もいて、結局のところインタレース走査した画像はちらついて見えるという評価になっている。

必要な帯域幅を抑えるために、インタレース走査はコンピュータディスプレイの信号にも使われている。フレーム周波数が下がると、伝送チャネルの必要な帯域幅も小さくなる。広く普及している規格の中では、IBMの8514/Aディスプレイアダプタのオリジナルの高解像度動作モードとXGA第一世代だけがインタレース走査を採り入れている。これらの44Hzというフレーム周波数では、はっきりしたフリッカが生じてしまうが、インタレース走査により、フィールドレートが88Hzまで上がる。インタレース走査のモニタのフレーム周波数ではなく、それよりも高いフィールドレートの垂直周波数に固定できるモニタが必要であるということに注意しなければならない。

各種のモニタについて通常列挙されている仕様の

中で、最も一般的なものといえば、おそらく帯域幅だろう。これは普通 MHz 単位で表わされる。一般的なモニタの帯域幅は範囲が広く、12~100MHzという数字を目にすることもある。

理論的には、帯域が高くなればなるほど解像度 も高くなり、表示できる画像もそれだけ鮮明にな る。カラーディスプレイの場合、表示管のドット ピッチが性能における最大の制限要素である。

一方モノクロのシステムの場合は、帯域幅が全体的な鮮明度の決定要素となる。IBMのディスプレイ規格では、極端に広い帯域幅は要求していない。帯域幅が大き過ぎると余って無駄なことがよくある。

モニタに必要な帯域幅は簡単に計算できる。通 常、個々の画面ドットをアドレスするのに十分な帯 域幅に、帰線時間(リトレース)を見越した幅を加え た帯域幅がシステムに必要である(帰線時間とは、 電子ビームは移動しているが、表示をしていない期 間のことである。たとえば、電子ビームは1つのフ レームの最終線がある画面の底部までくると、次の フレームの最初の線が始まる画面の頭部へと移動し なければならないが、この移動時間が帰線時間であ る)。MDA 規格で動作する TTL モノクロディス プレイは、1 秒間に 252,000 個 (720×350) の画素 を 50 回、すなわち、毎秒 1,260 万画素という速度 で表示を行う。同様に、コンポジットディスプレイ は1秒間に128,000個(640×200)の画素を60回、 すなわち、毎秒 768 万画素で、VGA ディスレイ は画素 288,000 個 (テキストモードでは 720×400) を 70 回、すなわち、毎秒 2,016 万画素の速度で表 示を行っている。

帰線時間に約25%という広い余裕を取ると、パーソナルコンピュータで使用する場合はほとんど、TTLモニタなら16MHzの帯域幅があればよく、鮮明なコンポジットビデオディスプレイだと10MHzの帯域幅で十分であり、このように大抵のディスプレイ製品が必要とする帯域幅をかなり下回る数字となる。VGAの場合は25MHzが必要最小限である。

表 14-2 に、IBM の様々なディスプレイ規格で 必要とされる帯域幅をまとめた。

表 14-2 IBM のビデオ規格のドットクロック (帯域幅)

ビデオ規格	ドットクロック
MDA	16.3MHz
CGA	14.3MHz
EGA	$16.3 \mathrm{MHz}$
PGC	25MHz
VGA (350 または 480 ラインモード)	$25\mathrm{MHz}$
VGA (400 ラインモード)	$25\mathrm{MHz}$
8514/A	44.9MHz

実際のアプリケーションでは、最悪の場合、ディスプレイは暗い画素の隣りに照射された画素を置くため、ディスプレイシステムが必要な実際の(論

理的の反対の意味として) 帯域幅は、ビデオ信号 のドットクロックにシステムのオーバーヘッド分を加えた幅の半分である。

14.7 モニタの種類

IBM 規格のモニタの世界はとても混乱しやすい。その特性を過不足なく説明しなければ、自分が話したいと思っているディスプレイの種類を、相手に確実に正しく伝えることはできない。カラーであるとかモノクロであるとか言うだけでは不十分で、モニタが準拠する信号規格についても伝えなければならない。この規格を指定するのは、モニタに使用されているビデオアダプタであるが、複数のアダプタと互換性があるモニタもあるし、アダプタのほうでも使えるモニタの範囲に幅のあるものが多い。しかし、モニタの種類については、それぞれを表わす特定の用語がいくつかあり、それが一般的に使われているので、その用語を使えば正しく伝わるだろう。

モノクロ

"モノクローム"とは、まさにその語源に表わされているとおりのものである。"モノ"とは1つのことであり、"クローム"とは色のことである。したがって、モノクローム(モノクロ)モニタは、緑であれ、アンバー、白、暗褐色、あるいは深紅色であれ、とにかく1色で画像を表示するディスプ

レイのことである。モノクロモニタには、接続すべきディスプレイアダプタにモニタの種類が明記されていない。しかし、モノクロモニタには3つの種類があり、その中から正しい組み合わせを見つけださなければならない。4番目の選択肢はマルチスキャンモノクロディスプレイで、これはほとんどどのモノクロ信号でも受け付ける。

TTLモノクロ

IBM から売り出された最初のディスプレイは、モノクロディスプレイアダプタに接続するタイプで、ほかの目的で作られたモニタ規格とは明らかに異なる。入力にデジタル信号を使用し、水平同期信号と垂直同期信号にそれぞれ別の線を使用している。

このモニタのデジタル信号は、トランジスタートランジスタ論理回路(TTL)系の集積回路が使用している信号レベルと同じである。このチップは、論理0と論理1によって厳密に定義された電圧範囲で動作する(TTLチップの入力電圧レベルは5Vだが、この5Vをデジタルの1とみなしている。TTLチップで入力信号とみなされる最低電圧は

4.3V である)。このモニタは TTL 信号を使っていることから、TTL モノクロディスプレイと呼ばれることが多い。このディスプレイが接続できるのは、MDA ディスプレイアダプタまたはそれと互換性のあるディスプレイアダプタ (Hercules 社のグラフィックスボードを含む) に限られる。

TTLモノクロディスプレイは、現在コンピュータシステムと一緒に販売されているモニタの中では最も安い(モニタ技術としても最も古い)。メーカーがどこかで節約をはかろうとするときに使う手が、モノクロVGAシステムをTTLモノクロディスプレイシステムに取り替えることである。できればこうしたシステムは避けるべきである。というのは、Herculesグラフィックスをサポートしているアプリケーションの数が、VGAをサポートしているアプリケーションの数が、VGAをサポートしているものよりも少ないからである。したがって、こうしたモニタの購入を考えるのは、テキストディスプレイしか必要なく、数ドルという金額でも自分にとってはとても大きいと感じられるときだけにしたほうが無難だろう。

コンポジットモノクロ

単に "モノクローム" という言葉以外に何の説明 もないモニタは、コンポジットモノクロームモニ タである可能性がきわめて高い。このタイプのモ ニタは、パーソナルコンピュータに使えるモノク ロのディスプレイシステムの中で解像度が最も低 く、CGAカラーディスプレイと同じ解像度レベル であるが、こちらの場合は CGA カラーディスプ レイのように、低い解像度の埋め合わせをする"カ ラー"という利点がない。コンポジットモノクロー ムモニタは、家庭用やプロ用のビデオシステムと 同じ信号を使っているため表示は見づらいが、大 量消費市場用に設計されているため、モニタとし てはほとんどの場合価格が最も安い。接続できる のは、CGAディスプレイアダプタとそれと互換 性のあるディスプレイアダプタだけである。IBM の「ポータブル PC」の内蔵ディスプレイは、実は

コンポジットモノクロモニタだった。現在コンポ ジットモノクロディスプレイが使われているほぼ 唯一の用途は、ビデオの映像を試写するマルチメ ディアシステムである。

VGAモノクロ

TTLモノクロモニタと同様に、VGAモノクロモニタは IBM の規格に準拠している。IBM のパーソナルコンピュータディスプレイとは異なり、モノクローム VGA ディスプレイはすぐに一般に受け入れられ、数多くの互換モニタを生み出した。これらはすべてほかのビデオ規格とは互換性がないが、VGAスタイルの出力装置であれば、どれにでも接続可能である。

VGA モノクロディスプレイは、変更を加えなくても、どの VGA ディスプレイアダプタとでも動作し、トラブルなく VGA グラフィックスを表示することができるが、もちろんこの場合もカラーの表示ではない。

マルチスキャンモノクロ

以上3種類のモノクロディスプレイは、固定した特定の周波数で動作するように設計されているが、マルチスキャンモノクロディスプレイは、送られてきた広範囲な周波数の信号に順応する。通常このタイプのモニタは、コンポジットから VGAまでどの規格のモノクロ信号でも処理することができる。組み合わせを間違えて表示ができなくなる恐れがない点以外に、固定周波数のディスプレイより有利な点はない。どの規格に準拠していても、モノクロを装備しているコンピュータシステムであれば、このマルチスキャンディスプレイに換えることができる。

現在では、マルチスキャンのモノクロディスプレイはあまり見かけなくなっている。ときどき市場に出てくることがあるが、普通の場合はちょうど CP/M ベースのコンピュータがそうであったように、需要があるときには市場から消えている。

14.8 カラーモニタ

IBM PC と PS/2 互換機に接続できるカラーディスプレイには 5 種類ある。コンポジットカラー、RGB (CGA)、エンハンスド RGB (EGA)、VGA、それにマルチスキャンの 5 種類である。

コンポジットカラー

VTR やビデオカメラに接続するような一般的な ビデオモニタには、NTSC コンポジットビデオ信 号規格が採用されている。この信号規格は、PCir に組み込まれているディスプレイシステムや CGA アダプタに始まって、以来パーソナルコンピュータ に長い間使用されているものである。コンポジット 信号は決して消えてなくなるようなものではない。 テレビやビデオ製品用としてコンピュータでグラ フィックスを作成する場合には、今でもこの信号が 使われている。また、いくつかのマルチメディアシ ステムにも取り入れられている。しかし、NTSC 規格が指定する 3.58MHz のカラーサブキャリア では、色の鮮明度が制限されるため、一般的な用 途にコンポジットカラー信号を使うのであれば、 1行40列のテキストが読み取れる程度というのが せいぜい期待できる最高限度である。いいかえれ ば、コンポジットカラーは特定用途向けの製品で あり、毎日の通常の業務に使用するコンピュータ に接続できるようなものではない。

RGB

IBM PC 用の最初のカラーディスプレイである「IBM 5151」は、3 原色にそれぞれ異なる 3 つのデジタル信号を使っていた。このため、加法混色の3 原色の赤 (Red)、緑 (Green)、青 (Blue)の頭文字をとった "RGB"がこの表示方式の名称となっている。もちろん、正確さに完全を期すなら、このタイプのモニタは CGA 規格の規定通りに RGBIというべきである。最後の "I" は輝度 (Intensity)を指す。

インターフェイス信号を除けば、RGB モニタ はコンポジットカラーモニタと動作様式が似てい て、周波数も同じであるが、アナログ信号の代わりにデジタル信号を使っている。NTSCカラーサブキャリアを必要としないので、インターフェイスによって帯域幅が制限されることはない。このため、RGBモニタはコンポジットモニタと同じライン数であるにもかかわらず、それよりもずっと鮮明に見える。RGBモニタは、CGA、EGA(その下のCGAモード)、互換性のあるディスプレイアダプタ、それにPCjrに使用することができる。CGAシステムの解像度が低いために、CGAモニタはPCjrと同じ運命を辿っている。

エンハンスドRGB

画質を EGA クラスへ向上させるには、EGA 規格の 22.1kHz の水平同期周波数を処理できる、より高級なディスプレイが必要である。さらに、そのインターフェイスも多少異なったものになる。同じくデジタル信号であるが、3 原色のそれぞれに輝度の信号を加えている。EGA 信号は EGA に適合したインターフェイスがディスプレイに必要である。

CGAと同様に、EGAは本質的には時代遅れである。EGAを使った新製品は、今はもう販売されていない。自分の古いモニタが故障した場合は、EGAカードの使える新しいモニタを入手するよりは、VGAにアップグレードして時間を節約し、頭痛を免れる道をユーザーは選ぶであろう。

VGA ディスプレイ

VGA ディスプレイは PS/2 と共に登場した。 このディスプレイでは、アナログ入力に加えて、 VGA 規格に適合するように 31kHz の水平同期周 波数を使用している。 VGA は今やコンピュータ モニタに要求される最低限の標準となっている。

マルチスキャンカラーディスプレイ

カラーのマルチスキャンディスプレイは、モノクロの製品よりも前にすでに発表されていた。当

時は、モノクロ規格で広く使用されていたのは1種類だけであった一方で、カラーについては少なくとも2種類の競合するIBMカラー規格が使用されていたからだ。初代のカラーマルチスキャンシステムの中には、NECの「Multisync」シリーズも含まれているが、このモニタがきわめて大きな成功を収めたため、このクラスのモニタ全部を『マルチシンク』と誤って呼ことがよくある。

マルチスキャンディスプレイでは、水平同期周 波数と垂直同期周波数を特定の規格に固定していない。その代わりに、コンピュータシステムから 送られてくる同期パルスに同調しようとするのである。もともとある信号に自動的にディスプレイ自体を適合させることによって、マルチスキャンカラーディスプレイは、ほぼすべてのビデオ規格 に対応して動作することができる。

しかし、把捉できる周波数の範囲は限定されている。たとえば、メーカーが 48~60Hz までの水平同期周波数を処理できるようにディスプレイの仕様設定している場合、このようなディスプレイは、VGA 規格で使われている 70Hz の信号を処理することができない。

ほとんどのマルチスキャンディスプレイは、VGA 規格すらも上回る周波数の信号を処理できるように設計されている。EGA Plus カードは、元来この潜在力を利用して作られたものである。IBM が8514/A ディスプレイアダプタを発表して以来、その規格との互換性を持たせるために、多くのメーカーが自社のシステムの周波数の対応範囲を拡大している。現在では、マルチスキャンディスプレイは大抵1,024×768以上の解像度を出せる信号に対応している。

14.9 入力信号とコネクタ

モニタは、サポートしているディスプレイ規格によって分類することができる。そしてほとんどの場合、その分類の基準は接続するディスプレイアダプタである。ディスプレイの互換性の範囲を知る際の基本的な方法は、コンピュータのリアパネルを調べて、モニタが使用している入力コネクタを確認することである。結局のところ、自分のコンピュータに接続できなければ、そのモニタは使えないということだ。

IBM が推進しているビデオ規格で、共通して使用されているコネクタが 3 種類ある。RCA 式ピンジャック、9 ピン Dsub、それに 15 ピン "高密度" Dsub の 3 つである。これらに加えて、入力信号用に BNC コネクタを 3 個以上使用している高解像度モニタもある。

コネクタが3個というのは、IBM の主要なビデオ規格の数(4つ)よりも1個少ない。おかげで、大変やっかいな羽目に陥ることがある。不注意に間違った種類のモニタをディスプレイアダプタに接続すると、モニタに取り返しのつかない損傷が

起こることがある。これを聞けば、3個のコネクタ はそれぞれどんなもので、どれと接続すると命取 りになるかを知りたくなるのは当然のことである。

ピンジャック

ステレオ装置やビデオ装置に使われている "ブルズアイジャック" (ピンジャック) を、IBM はカラーグラフィックスアダプタが接続できるコンポジットビデオコネクタに使用している。おびただしい数のメーカーのモニタやテレビの多くも、このコネクタを使用している。IBM 製のディスプレイでは使われていないとはいえ、このコネクタを使うと、品質が多少落ちても構わなければ、代わりに使えるディスプレイの選択の幅は大きく広がることになる。

コンポジットモニタ(コンポジットビデオ信号と NTSC カラー信号のみを処理するモニタ)はカラーとモノクロ両方の中でも、最も広く使われ、値段も最も安い部類に入る。

CGA カラーカードまたはその互換カラーカー

ドを使えば、どのコンポジットビデオディスプレイでも使用できるが、信号によって表示可能な画質が制限される。つまり、モノクロとしては十分使えるが、カラーについては、40列のカラーモニタとしては大丈夫でも、80列のカラーモニタでは判読不能な画質になってしまうのである。それにもかかわらず、コンポジットビデオディスプレイはもともと多目的装置であり、コンピュータ入力が加わってさらに汎用性が増した。

デイジーチェーン

ピンプラグ式コンポジットビデオディスプレイの持つ副次的な利点は、ほとんどの場合入力ジャックと出力ジャックの両方が付いていることである。2つ1組になっているこれらのジャックを使って、複数のモニタを1つのビデオ出力装置にデイジーチェーンすることができる。たとえば、コンポジットビデオモニタ6台をコンピュータの出力装置に接続して、教室や会議室でのプレゼンテーションに使用することも可能である。

多くの場合、ジャックはディスプレイを環状に接続するだけである(つまり、ディスプレイのジャック同士を接続して複数のディスプレイを接続するのである)。ディスプレイは単に入力ビデオ信号を橋渡しするだけで、それ以外に信号を変えたりすることはない。ほとんど無数のモニタを画質を損ねることなく、環状連鎖に接続することができるのである。しかし、モニタの中には内蔵のビデオ増幅器で出力をバッファするものもある。これらのモニタをデイジーチェーンすると、増幅器の質によっては、目につくような画質低下が生じることもある。

増幅器が内蔵されているかどうかを見分けるには、ディスプレイの出力端子を自分のコンピュータの出力端子に接続してみればよい。大抵の増幅器は逆方向には動作しないので、ディスプレイにバッファする増幅器があれば、画面上に何も表示されない。一方、入力ジャックに差し込んだときに得られる画像と画質がそう変わらなければ、増幅器はなく、信号は単にディスプレイの中を通り抜けることになる。

アナログ電圧レベル

コンポジットモニタの仕様には、入力信号の電 圧レベルを示す数値が含まれていることがある。 この電圧レベルは、コンポジットディスプレイを 選ぶ場合には重要になることがある。というのは、 これらのモニタは本質的にアナログ機器だからで ある。

アナログモニタでは、電圧レベルは電子ビームが画面上を照射する輝度に対応している。公称 1V のピークからピークの入力信号がビデオとコンピュータ業界の標準であり、どのコンポジットモニタも当然この信号を使っているはずである。しかし、IBM の VGA の要求する電圧レベルは 0.7Vで、この標準とは少し異なっている。

ターミネーション

正しい性能を発揮するためには、コンポジットビデオ信号回線は $75~\Omega$ のインピーダンスでターミネート (終端処理) しなければならない。このようにターミネートすることで、正しい信号レベルが確保され、回路のインピーダンスが正しく整合されていないことで、知らない間に問題を起こすことがないようにしている。コンポジット入力モニタ (特に入力と出力とを分けているもの) は大抵ターミネーションスイッチを備えており、このスイッチを入れると、 $75~\Omega$ の抵抗がビデオ回線に接続される。デイジーチェーンの場合には、スイッチを入れる終端抵抗は1つだけで、それは必ず連鎖の端のモニタでなければならない。

終端抵抗のスイッチを入れたときにモニタを見ると、画面が暗くなるのがわかる。これは、抵抗がビデオ信号の約半分を吸収するからである。コンポジットビデオ信号はアナログ信号なので、電圧レベルに敏感である。終端になると電圧が半分に下がり、その結果画面も電圧の半減に対応して暗くなるのである。この場合、暗い画像が正しい画像であることに注意しなければならない。明るいほうが良いように思えるかもしれないが、そうではなく、明るいと、モニタの回路に過負荷がかかり、場合によっては誤動作が生じるのである。

ビデオ入力ジャックが1つで、ビデオ出力端子 が付いていないコンポジットモニタには、通常終 端抵抗が取り付けてある。1つの CGA コンポジット出力装置に、このようなモニタを2台以上接続する (Y ケーブルまたは Y アダプタを使用) のは賢明ではない。モニタを1台追加するごとに画像が暗くなるため (信号を複数のモニタに分割しなければならないため)、CGA アダプタは送り出す電流の量を増加しなければならなくなる。電流の量を増加すると、これが原因で CGA アダプタが故障する場合もある。

9ピンDsubコネクタ

IBM のビデオ規格は3つとも9ピン Dsub コネクタを使用している。3つとは、モノクローム、標準RGB、それにエンハンスドRGBのことである。さらに事態を一層ややこしくしているのが、多くのモニタメーカーも、VGAディスプレイシステムや各社独自のディスプレイシステムに同じコネクタを使用していることである。

混乱しそうになったら1つの規則に従えばよい。 つまり、接続しようとしているディスプレイアダ プタのタイプがわかればよいのである。特に IBM モノクロームディスプレイを CGA アダプタに接 続したときなど、選択を間違えるとディスプレイ に致命的な損傷を与えることがある。同期周波数 の不整合はディスプレイ内部の部品が加熱したり 故障したりする原因となる。

不整合は見つけやすい。画像を見れば簡単に気付くはずだ。板すだれのような線のパターンが見えることもあるし、画面がフラッシュすることもある。また、垂直同期調節機能が突如として故障してしまったかのように見えることもある。これらの徴候が見えたり、ディスプレイからキーキーという甲高い音が聞こえたり、画面に何も表示されないようなときは、すぐにディスプレイの電源を切って、モニタの寿命が縮まらないうちに問題の原因を探さなければならない。

15ピン高密度 Dsubコネクタ

15 ピン高密度 Dsub コネクタを付けているモニタを見たら、VGA 専用かマルチスキャンかの別はあるが、それは VGA 互換のモニタである。

今までのところ IBM は、9 ピンとこのコネクタ

とを間違えるという問題が起こらないように、うまく対策を講じている。モノクロディスプレイとカラーディスプレイの両方が同じコネクタを使っているが、接続されているのはどちらのモニタであるかを VGA 回路が感知して、正しく処理できるようにしているのである。

IBM の 8514 と 8515 のディスプレイ、それに 8514/A と XGA の 2 つのディスプレイアダプタ は、ときどき別の信号を使うこともあるが、これらも同じコネクタを使用している。しかし、IBM はここでも信号にコードを挿入することによって問題が起こらないように対策を取っている。8514/A と XGA の 2 つのアダプタは、接続されているディスプレイの種類を感知できるので、不整合となるような信号を送り出すようなことはない。なお、8514 と 8515 の 2 つのモニタは VGA 信号で問題なく動作するので、普通の VGA 出力装置に接続されても問題が生じることはない。

BNCコネクタ

本当の高解像度システムの場合は、信号はすべて独立した同軸ケーブルを使って受け取っている。一般に、このシステムではモニタを接続するのにBNCコネクタを使用している。1つ非常に都合のよい理由がBNCコネクタにはあるのだ。コネクタによって周波数処理能力は異なる。事実、標準的な15ピン高密度Dsubコネクタでは、そのコンデンサ成分(寄生容量、負荷容量)が帯域幅を制限することがあり、これは特に信号周波数が30MHz以上に上昇したときによく起こる。しかしBNCコネクタは、GHzといった範囲の周波数向けになっているので、通常のビデオ信号に制限を加えるようなことはほとんどないのである。

モニタが入力に BNC コネクタを使っている場合、その数は恐らく 3個、4個、5個のいずれかであろう。BNC コネクタが 3個のシステムでは、水平同期信号と垂直同期信号の両方を緑の信号に統合している。このような信号の混合方法をシンクオングリーン(sync-on-green: グリーンの信号に同期信号を入れること)という。3つのコネクタをそれぞれ赤、緑、青の3色の信号に使い、水平同期信号と垂直同期信号を1つにまとめて、4つ

目のコネクタをこれに使っているモニタもある。 この方式はコンポジットシンクという。コネクタ が5個のシステムでは、3個をカラー信号に、1個 を水平同期に、残り1個を垂直同期に使用してい る。これはセパレートシンクシステムである。

音声入力

音声と映像の両方の能力を持ったモニタ、特にコンポジット信号入力のものは確実にその数が減少してきている。しかし、この機能が役立つ場合が少なくとも2つある。1つは、現在パーソナルコンピュータでも利用が始まった新技術の、音声合成と音声デジタイズをオプションとして利用する場合で、もう1つはPCjrの3音声出力を増幅

するときである。モニタの音声増幅器は、仕様が 簡単なもの(音声周波数帯域幅が制限されていて、 出力電力が1W未満)でも、大抵は前述の2つの 機能のうちのどちらかを十分こなすことができる。

IBM のパーソナルコンピュータのラインアップの中で、最初から音声機能を備えたモデルは少ない。アクセサリを使うことによって、パーソナルコンピュータに音声を取り扱う機能を持たせることは可能だが、パーソナルコンピュータを使って得られる音声よりも、もっと質の良い音声を出せる回路を増設したい場合がある。アドインアクセサリをステレオシステムに接続するには、パッチコード(両端にプラグのついたコード)を使えばうまくいくだろう。

14.10 モニタの安全性

パーソナルコンピュータを使用することは、ある意味で危険であるといえるが、その場合、ほかの作業に伴う危険とは少し性質が異なる。パーソナルコンピュータでは化学的な危険は発生しない(もっとも、パーソナルコンピュータの製造工程では、環境に影響を与える科学物質や技術が使われているが)。しかし、パーソナルコンピュータには、目に見えなくて、もっと油断がならないもの、すなわち、電磁波の脅威が伴っているのである。目に見えず、手に負えないこの潜在的な力は、アガサクリスティの小説に登場すれば申し分のない毒薬となる特性を持っている。無色、無臭、無味なのである。したがって、命取りの仕事を済ませると、あとかたもなく消え去ってしまう。

電磁波 (EMR: ElectroMagnetic Radiation) は必ずしも悪いものではない。実際、電磁波は生命の根源である。たとえば、日光は電磁波のひとつの形態であり、また、日常生活でも電磁波はその有益な働きによって大きな役割を果たしている。トーストを焼く赤外線、電子レンジに使用されるマイクロ波、毎朝ダイアルを合わせている電波信号、日焼けさせる紫外線、病気の診断に役立つ X

線、これらはすべて電磁波である。

しかし、電磁波は過度に被曝すると、どの形態の場合でも危険である。X線は癌の原因となることが知られているし、紫外放射も別の種類の癌と白内障を起こす原因となる。赤外放射は物に火をつけたり、肌にやけどを負わす可能性がある。マイクロ波は、食べ物を内部から調理することができるが、白内障の原因に関係があるとされている。低周波の電波もまた、人を生きたままローストできる潜在的な力があり、最近ではこれよりもっと微妙な生体変化を引き起こして、ことによると癌の原因にさえなるということが発見されている。ある地点から、そしてある限度を超えたとき、有益な電磁波が健康障害へとつながるのである。

コンピュータの安全性ということになると、問題は、パーソナルコンピュータと VDT (Video Dis play Terminal) が善から悪へと続く物差しのどこに位置するかである。電磁波を発生する機器は、どれもみな健康問題を起こす原因となる可能性がある。パーソナルコンピュータ機器もまたこうした問題をもたらすのであろうか。

この問題をめぐる意見はどこにでも簡単に見つ

かる。事務所での長い1日の後、頭痛をおぼえる 人は、誰もが自分の使っているコンピュータを犯 人に結びつけがちであり、恐らくそれは正しいで あろう。一方、今や机の上にあるパーソナルコン ピュータは数百万台を数えるのに対し、それを常 時使用している人たちの中で、仕事中に不可解な 死を遂げたという事例は、このような疑義を引き 起こすほど多くはないということを指摘する人た ちもいる。この場合の論理的根拠は簡単である。 私はコンピュータで仕事をしている。そして私は 生きている。故に、私のコンピュータは私を殺し ていない。

逸話や意見とは対照的に、本当の答えはもっと見つけにくいものである。これらの問題の解明が十分でない理由の1つは、人間社会におけるパーソナルコンピュータの歴史はまだ浅く、10年も経っていないということにある。したがって当然のことながら、パーソナルコンピュータの職業に及ぼす災害の危険性を示す直接的証拠が欠けているのである。それに加えて、パーソナルコンピュータの使用に潜む危険は、今なおすべてが判明したり、理解されているわけではない。有益だと思われていた技術や商品が日常生活に受け入れられてから長くたって、予期していなかった恐ろしい副作用があることが判明する事例はよくある。

アスベストは1930年代に建築材として広く使わ れるようになったが、しばしば命取りにつながっ た影響が、40年以上も経過してから初めて明確に アスベストに結びつけられた。規制の制定はもっ と遅かった。たとえば、ニューヨークは1985年に なって初めてアスベスト規制案を可決した。文明 は興隆しやがて衰退するが、その間自分自身が作 り出したた猛毒によってむしばまれているのであ る。なぜなら、ローマ帝国の飲み水の多くを運ん だ鉛管の場合のように、文明はときとして問題が 引き起こされるメカニズムを理解していないから である。実際、ELF磁界、すなわち、パーソナル コンピュータが放出する電磁スペクトルの一部が 健康に及ぼす影響は、2千年前の鉛管の毒性の場 合と同じように、現在でも一般に人たちにとって 不明で、得体が知れないままなのである。

もしパーソナルコンピュータのどこか一部に危

険があるとしたら、それはモニタである。モニタは、危険性のある周波数と、すでに有害であることが判明しているいくつかの形態の放射線を扱うものである。VDT はすでに 40 年近く使用されていて、これについては健康に関するデータがかなり作成されているが、モニタはこの VDT と共通の特徴を多く持っている。モニタ技術と VDT 技術は両方とも大体同じ周波数の信号を使っており、両方とも組成が同じ電磁波を数多く放射している。

しかし、VDTについても、健康に及ぼす影響の問題は、何十年にわたる研究にもかかわらず今なお解決されていない。VDTの安全性について、また同様にパーソナルコンピュータモニタの安全性についても、本当のコンセンサスはまだ得られていないのである。様々な研究の中で相反する結論が導き出されたため、互いに相手方の論拠ではびくともしない程相対立する2派が形成されてきた。一方は、電子機器メーカーとVDTを使う人たちを雇用している諸団体である。そして、これらの機器は安全だというのが彼らの信念である。他方、実際にVDTやパーソナルコンピュータで仕事をしなければならない人たちは、これに対して疑念を持っている。これは、技術的な問題に姿を変えた古典的な労使の対立である。

労働者側の見解は、電磁波の生体への影響や、VDT 使用と健康問題との関連を示す様々な研究によって支持されている。これらの問題の中で最もよく知られているのは、流産の危険率の増加である。たとえば、カリフォルニア州の Kaiser Perma nente 社のために行われた有名な研究では(1988 年発表)、妊娠女性 1,583 人のうち、毎週 20 時間以上 VDT を使っていた女性の流産率は著しく増大していることが示されている。

他方、VDTメーカーとその経営者側は、VDT 使用者にこのような危険が何ら発見できないとするありとあらゆる研究(これらの多くは彼らが資金を提供したものである)を動員している。たとえば、VDTが発する電磁波を妊娠したハツカネズミ800匹に当てたトロント大学の1989年の研究では、自然流産と VDT の電磁界との間には何ら関係がないことが示されている。

もし自分が妊娠したハツカネズミであれば、こ

れは良いニュースであるかも知れないが、妊娠し た労働者としては安心できないだろう。どの科学 分野においてもそうであるが、VDT 研究は解釈の 余地が大きい。さらに、人間についての VDT 研 究は、因果関係というよりは相関関係を明らかに するに留まっている。問題を VDT 使用に結びつ けてはいるが、本当の原因と結果の関係を立証し ていない。コンピュータ端末から出る電磁波が流 産の原因である可能性もあるし、コンピュータ端 末の何か別のものが、あるいは特定の研究の実施 方法が、こうした結果に影響を及ぼした可能性も あるのだ。たとえば、Kaiser 社の研究自体も、貧 弱な人間工学への配慮や業務関連のストレスなど の測定されていない様々な職場の要素が、研究の 結果に混入しているかも知れないことを認めてい る。事実、電磁波よりもストレスのほうが、VDT 使用に関連した健康への影響の原因として考えら れる第一候補になる。

一方、電磁波と、実験室の条件下で培養した組織の生体変化との間に、原因と結果の関係があることを見出した研究の数が増えている。パーソナルコンピュータや VDT が作り出す電磁界と同じ性質を持った電磁界に生体組織をさらしたときに、これらの影響のいくつかが発生している。

モニタや VDT が発する放射は、いくつかの帯域にはっきりと分かれる。それらの一部の帯域は、すでに健康への影響のあることが判明しているが、健康への影響がそれほどはっきりしない帯域もある。これらの周波数の範囲の中で最も重要なものとしては、X線、紫外線、マイクロ波、VLF、それに超低周波 (ELF) の放射線がある。

X線放射

テレビのブラウン管、オシロスコープ、レーダー 画面、コンピュータモニタなどの陰極線技術をベー スにした機器に関連する危険の中で、恐らく最も 広く知られているのは X 線放射であろう。

X線は癌の原因になることが知られており、そのメカニズムもよく究明されている。X線はイオン化する放射線である。X線を構成する光子には、染色体のDNAも含め分子の化学結合を分解するのに十分なエネルギーが含まれている。光子が細

胞内のDNAを変えると、その細胞の遺伝コードが変る。その細胞は突然変異を起こし、恐らくすぐに死ぬか、またはその活動に微妙な変化を生じる。細胞のDNAが変化し、その細胞が増殖してDNAの複製を作ると、こうした変化はその子孫に受け継がれる。この場合に起こる可能性の1つは、細胞の成長制御機構の変化である。そうなった細胞とその子孫は癌細胞と同様に早い速度で増殖し、抑制不可能となる。

1つの細胞が X 線に反応して癌の原因となるという可能性は極めて小さい。しかし、相当の数の細胞が反応するだけの X 線があれば、癌発生の可能性は現実のものとなり、憂慮すべき事態となる。

X線放射はカラーテレビの画面と関連づけられており、したがって、カラーのコンピュータモニタにも同様な関連があることになる。こうした関連づけは1960年代初期の恐怖物語に基づいているのだが、当時、初期のカラーテレビは実際に法外な量のX線を放出していた。

X線の発生には多くの方法があるが、その1つは電子の急速な減速によるものである。電子は減速すると、エネルギーを放棄しなければならない。電子の運動量に応じて、エネルギーの一部が X線として放出されるのである。

X線は2種類に分類される。波長が $1/10\sim1$ nm の低エネルギーX線、すなわち、「軟X線」と、波長が1/10nm 未満の高エネルギーX線、すなわち、「硬X線」の2種類である。軟X線は低エネルギーなので、透過能力はあまりない。一方、硬X線は人体を透過し、人体に影響を及ぼす。医療用X線は硬X線で、細胞に損傷を与える力がある。それ故、政府はX線照射に厳格な限度を設けているのである。

初期のテレビは高電圧の真空管整流器を使っていた。これは、表示管内で電子ビームを射出するのに必要な電流を発生させる小さな管で、本質的には小型の X 線管であった。巨大な電子の集束を管の陰極から陽極へと通すことで、その機能を果たしていた。そして、電子は陽極で急速に減速するため、その過程で X 線が放出されていたのである。

X線騒ぎの結果、最終的には米国連邦政府はテ

レビ (とコンピュータ端末) から放出される X 線に厳しい規制を発令することになったのだが、この騒ぎは現実に根ざしたものであった。腕の骨のレントゲン写真が撮れるほど強力な X 線を放出していたテレビが一部にあったのである。

しかし、すべてのテレビがそんなに危険であるわけではない。事実、先の事件で刑事被告となるべき部分は、製造に欠陥のあったシャントレギュレータであることが判明しており、それらは陽極を正しくシールドしていなかったのである。このため、テレビの底から束線状の濃縮された電子ビームが放出されるていたのである。テレビをお腹にのせたりしなければ(そもそもテレビの重さが怪物のように数百ポンドもあった当時には、とてもできそうになかったが)、その影響は受けずにすんでいた。

さらに、高電圧の真空管整流器と分巻調整器は今や時代遅れで、これらはソリッドステートシリコンダイオードに取って代わられている。これらのダイオードは X 線を放出せず、電子はシリコンダイオード内をゆっくりと減速しながら移動する。知っている限りでは、真空管整流器を使用しているコンピュータモニタはない。したがって、それを発生源としたパーソナルコンピュータの X 線問題はないはずである。

しかし、CRTをベースとした機器にはすべて、 X線を放出する可能性のある箇所がもう1つある。 CRT はいずれも、画面のフェイス内部に塗布され ている蛍光体へ電子線を射出することによって画 像を作成している。蛍光体に当たると、これらの 電子もまた急速に減速するのである。電子ビーム から出るエネルギーは、大半が蛍光体を刺激する ために向けられている。電子ビームによって刺激 が与えられた蛍光体は、画像となる目に見える光 を発する。このとき、その光の一部からX線が発 生することがあるのだ。管内の電圧が高ければ高 いほど、X線の束も大きくなる。カラーのブラウ ン管は 30kV もの電圧で動作するため、20kV 未 満で動作するモノクロ管に比べて、何千倍ものX 線を発生している(電圧が1kV ト昇するごとに、 X線放出はおよそ10倍上昇する)。

だが、どのコンピュータモニタからも多量のX

線が漏出しているなどということは考えられない。 CRT 内の電子ビームにはエネルギーがほとんどな く、発生するのはや軟 X 線だけである。この放射 線は、CRT の特別製のフェイスガラスが効率よく 吸収してくれる。

CRT 自身は、奇妙な形をした単なるガラス瓶で、その細くなった先から金属製のピンが何本か突き出ているといった単純なものに見えるが、実際は複雑な創造物で、マイクロプロセッサの登場以前の消費財の中で、最も複雑な商品であると思われる。真空管は均一のガラスではなく、それぞれ特定の目的に適合したいくつかの種類のガラスを使って、精巧に作られている。真空管のフェイス部分は厚く、1/2インチ(約1.27cm)もあることがある。この部分は、ストロンチウムと鉛の成分の多いガラスでできている。そして、ストロンチウムや鉛が、真空管内のビームから放出されるX線をシールドする。

米国食品医薬品局 (FDA: Food and Drug Ad ministration) が制定した規則では、テレビと端 末装置からのX線放出は、画面から5cmの距離 で1時間当たり0.5ミリレントゲンを最高限度と している。これは画面から約2インチという距離 なので、非常に接近して見る場合まで想定してい る。放出がこれ以上の機器は、米国での販売が禁 止されている。さらに、この規定に基づいてX線 放射を測定をする際は、結果が最悪となる条件下 で行わなければならない。測定する機器のつまみ やキーをすべて X 線放出が最大になる位置 (そん な位置ではまず動かすことがないというような設 定位置)にするだけでなく、X線放出が最悪となる 故障状態のシミュレーションも行わなければなら ない(たとえば、電圧調整器が故障すれば、CRT の電子ビームの電位が上昇する)。これらのシミュ レーションは、試験中に装置が故障して大失敗に 終わることがよくある。

FDA による認可試験では、コンピュータ端末から放出する X線の量を以前に比べて引き上げている。たとえば、1981 年の研究では、試験をしたビデオデータ端末 12 台につき約 1 台が 1 時間当たり 0.5 ミリレントゲンという限度を越える X線を放出していることが判明した。問題があるとされ

た VDT は、最終的には (91 台のうち) 8 台に絞られたが、これらはモデル数としては 3 種類であった。 認可規定から外れたこれら 3 種類のモデルはリコールされ、放出規定を遵守するように改変するか、米国市場での販売を禁止するかのいずれかの措置が取られた。

コンピュータモニタの圧倒的大多数は、今や事 実上 X 線放出はゼロである。実際のところ、鉛を 多く含んだガラスを画面に使うことによって、X 線のバックグラウンド放射のシールドが可能となっ ているのである。

紫外線放射

紫外線は日光の一部で、現在成層圏のオゾン層の減少に伴い増大の傾向を示している。「名は体を表わす」というように、紫外線の"紫外"とは、スペクトルの紫色よりも外側になる目に見えない日光の部分のことである。この部分は、可視光よりも波長が短い(180~400nm)〈周波数が高い。ということは、物理的に紫外線の光子は可視光の光子よりも強力ということである。実際、紫外スペクトルは電離線と非電離線との間の過渡的な範囲に広がっている。紫外線の光子には染色体を損傷するほどのエネルギーがあり、癌の原因に関連があるとされている。紫外線の光子は皮膚を焼くこともできるのである。そして同時に、紫外線をうまく利用すれば肌を守る健康的な日焼けといった反応をも引き起こすことができるのである。

しかし、X線とは異なり、紫外線はものを透過しない。大気の厚いオゾン層によってほとんどの紫外線の放射は阻止されるし、厚い綿のブランケットや薄いシャツでもかなり紫外線遮断の役割を果たせる。したがって、人体に対する紫外線の影響は、直射日光が到達することのできる箇所、つまり、露出している皮膚と目に限定される。紫外線にさらすと、皮膚癌、白内障、結膜炎(目の縁の炎症)、角膜炎(目の角膜の炎症)、痛み、光に対する軽い弱性の原因となることが現在では一般的に認められている。

現在では、紫外線の被曝量は蓄積していくということが明らかになっている。つまり、生涯にわたってその光線にあたる時間が長くなればなるほ

ど、また光線が強ければ強いほど、好ましくない 結果が生じる可能性が高くなるわけだ。また、生 涯の中で早い時期に照射すると、後で照射するよ りも影響が大きいと考えられている。

コンピュータモニタはいずれも、画像の可視光と一緒に若干の紫外線も放出している。しかし、最もエネルギーがあり、したがって最も危険な波長は CRT から漏出しない。普通のガラスは、波長が約350nm未満の紫外線を吸収する力が強い。したがって、紫外スペクトルの中で、CRT の放射に存在すると思われるのは、波長が350~400nmの部分だけである(紫外線の始まる波長を380nmとしている文献もある)。

紫外線はある程度モニタからも放出されるが、 波長が短くなるにつれて放出レベルが減衰し、ほ とんどの場合、波長が約350nm以下になると事実 上皆無となる。カラーモニタは大抵、同族(P22) の蛍光体を使用しているので、紫外線放出の特性 は類似している。しかし、モニタの紫外線放出レ ベルはつねに可視光線よりも少なく、一般に可視 スペクトルの最大放射量のわずか5%に過ぎない。 対照的に、よくオフィスの照明に使われている "デ ラックスクールホワイト"蛍光灯などは、可視ス ペクトルの最大放射量の約20%にあたる紫外線を 放出している。モニタの一般的な輝度レベルと米 国職業安全衛生管理局 (OSHA) が要求する事務所 の照明レベルに基づくと、CRTの紫外線放出は、 モニタを特別なテスト条件で動作させた場合(輝 度とコントラスト比を最大に設定し、画面全体を 点灯する)、机上の白い紙に反射した光線の1/4 程度である。通常の動作では、モニタからの紫外 線放出はこれよりも相当少なくなるであろう。つ まり、確かにモニタは測定可能な量の紫外線を放 出しているが、蛍光灯の照明の方が一般的なコン ピュータモニタに比べて危険性は何倍も大きく、 日光はさらにそれよりも大幅に上なのである。

マイクロ波放射

マイクロ波のエネルギーは電子レンジで加熱したり、レーダービームを地平線のかなたへ飛ばしたりする力のもととなるが、生体の細胞に影響を及ぼすことについては、すでにはっきりと証明さ

れている。電子レンジの中に入れたポテトやプードルを見ればわかるように、マイクロ波のエネルギーは熱調理を行う。メカニズムはよく判っていて、マイクロ波信号のエネルギーが水と脂肪の分子に刺激を与え、熱エネルギー(熱)としてそれらの分子に移動する。食物の中に誘導された熱は、飛び散るよりも早い速度で蓄積して温度を上昇させる。こうして食物はマイクロ波で熱調理されるのである。たんぱく質の細胞は、温度が上昇すると破壊され、細胞は死に、食物は料理されるのである。

マイクロ波はそれほど遠くない距離であれば、生きている組織を透過する。したがって、体の内臓をマイクロ波ビームで加熱することができる(殺してしまう可能性もある)。また、マイクロ波の熱エネルギーは、白内障の原因になることでも知られている。

マイクロ波よりも長い波長(VHF テレビや FM、標準的なラジオ放送に使われている信号の波長がその典型)でも、物体にエネルギーを移転させることによって熱を発生させるが、生物の組織に対してはそれほど反応しない。これらの波長は吸収されずに透過してしまう傾向があるからである。

電波スペクトルのマイクロ波とそのほかの放射線(つまり、周波数が約30kHz以上のもの)は、加熱という作用以外には何ら健康面については危険がないと考えられている。マイクロ波を白内障の原因に結びつけている研究もいくつかあるが、そうしたマイクロ波は大抵熱作用を引き起こすような強さである。熱作用のないマイクロ波が原因となった白内障も報告されているが、研究の大勢はこれに対して否定的な意見である。

マイクロ波やそのほかの電波の周波数で熱作用を発生させるには、きわめて強い信号が必要である。電子レンジは数百ワットというレベルで動作するが、コンピュータモニタがコンセントから引き出す電力は数百ワットに満たない。コンピュータモニタがマイクロ波を放出しているとはいえ、その量は少ないのである。事実、こうした放出は熱作用を発生するとされるレベルよりはかなり低いことを米国政府も保証している。米国連邦通信委員会(FCC)規則第15編B部(旧J部)に、熱作

用が発生する放射レベルをかなり (何桁という単位で)下回る干渉基準が設定されており、コンピュータ機器はすべてこの規則第 15 編 B 部に準拠していることが認定されなければならない。健康に関わる放出基準が 1 メートル当たり数 V という単位であるという事実に基づいて、FCCの干渉基準ではマイクロ波の放出を 1 メートル当たり数 μ V という単位に制限している(正確な数値は周波数によって変わる)。

また、パーソナルコンピュータはマイクロ波の エネルギーを直接生成しているわけではない。マ イクロ波は理論的にはコンピュータ内で生成され る信号の調波として作り出されるが、マイクロ波 信号のレベルは本質的に測定不可能である。

熱作用以外に、マイクロ波によってもっと低い信号レベルで発生する作用が存在する可能性がある。もしこうした影響が現実にあるとすれば、マイクロ波の低周波数変調の結果であろうと考えられている。また、この変調の影響は、もっと低い周波数の直接放射の作用に似ていると思われる。

ELF 放射とVLF 放射

電磁スペクトルの一番下に ELF (Extremely Low Frequency: 超低周波)磁界がある。厳密に定義すると、ELF に含まれる周波数範囲は 3~30Hz であるが、一般的には範囲を拡大して、30,000Hz 未満の周波数全体に対してこの用語を使用している。450kHz 未満の周波数と同様に、ELF も FCC の認定過程では無視されている。ELF は無害であると長い間考えらてれきたが、現在多くの新聞記事や雑誌記事が、その安全性について疑問を投げかけている。

厳密にいえば、ELFは放射線ではなく、電源系統や、電気器具、そのほかの電気機器(コンピュータとその周辺機器を含む)の強力な電流によって生成される電界と磁界である。電界と磁界は相互に関連があり、同一の現象から発生するが、それぞれを分ける特性がある。電界は電位(電圧)を発生し、1メートル当たりのミリボルト数またはボルト数で測定するが、導電性の物体を使用すると比較的簡単に遮蔽される。他方、磁界は電流(アンペア)を発生し、1メートル当たりのミリアンペア

数で測定するが、ガウス単位で測定されることも ある。なお、磁界の遮蔽は難しい。

送電線や配電設備から発生する強力な ELFの 電磁界と、癌発生の危険の増加との間に因果関係 があるとする研究が最近数多く発表されている。 また電気毛布やウォーターベッドのヒータも関係 があるとされている。一部のコンピュータ機器が 発生する電磁界に類似する ELFの電磁界が、実 験では生物に影響することが判明している。こう した影響には、細胞膜透過性の変化、胎児期の発 育変化、それに癌細胞の成長促進がある。

ELF 研究には2つの方法がある。1つは、細胞の培養と動物の組織に関する実験研究で、もう1つは疫学調査、すなわち、疾病者に関する調査から開始して、疾病者たちの間に共通の環境因子を統計的に探ろうとするものである。

送電設備の疫学調査は大抵、ELFの電磁界に触れることと病気との因果関係を示すという形を取っている。現在までのところ、これらの研究結果は因果関係ありとするものもなしとするものもある。しかし、ごく最近までは、疫学調査の結果は、ELFの大きな電磁界(電界と磁界自体は測定されていない)の存在と小児癌との間に、明確な相関関係があるとする以前の研究に対する批判に答えることを目的としていた。米国とスウェーデンでは、配電設備に関連したELFの強力な電磁界と癌との因果関係が発見されているが、それと対立する研究もまた発表されているのである。

組織の熱作用を発生するレベル以下の ELF が 生物に及ぼす影響の可能性について、過去約 10 年間精力的に実験研究が続けられている。その研究 の中で明らかになりつつある結果によれば、ELF の電界と磁界は生物の組織には無害で相互作用が ないどころか、有益な影響と悪影響の両方の形で 微妙に作用する力があるということである。プラ スの面としては、ELF の電界や磁界は骨折の治療 に使用できる。明らかに骨の成長を促進し、治癒 を早める作用があるのだ。マイナス面としては、 ELF の電磁界が細胞膜のカルシウムの透過率に影響することが判明しており、これは神経組織にお ける電気信号の伝達を含む様々な細胞の機能に影響を与える可能性がある。また、蛋白質の合成に も影響を与え、日周期 (24 時間リズム) を変更することが判明している。さらに、癌細胞の成長を促進することもあるようだ。神経系統が過敏になると、ELF の電磁界に著しく敏感になることがあり、これらの影響は潜伏して、特定の状況にだけ現れたり、もっと後になって現れる場合もあることが研究によって明らかになっている。

もちろん、これらの恐ろしい研究の結果のすべてが精査に耐えられるわけではない。実験の反復を怠っている研究結果もいくつかある。それに、もちろんこれらの実験研究は試験管内で行われたもので、人体への影響が同一であるという保証はまったくない。しかし、ELFの電磁界は、一時期考えられていたよりも低いレベルで生物に作用する力があるという点で、意見の一致が生まれてきている。

ELF の電磁界に関する発見の1つに、電離線と しての作用は持たないということがある。たとえ ば、ELFの電磁波には、分子レベルで細胞の化学 結合を変えたり破壊したりするほどのエネルギー がない。したがって、染色体を損傷することはな い。代わりに、ELFの電磁界は、体内の生きてい る細胞で通常発生する電気変化のまねをするよう である。たとえば、ELFの電磁界は細胞のカルシ ウム透過率を変えることによって、神経細胞の刺 激に対する反応を変えることができる。この細胞 の正常な作用の模倣が、ELFが癌を促進する潜在 力の根源となっているのかもしれない。細胞膜の 中でELFに反応する部分は、癌を促進する化学 薬品の受容体の役割を果たすようである。さらに、 ELF の電磁界は化合物のオルニチンデカルボキシ ラーゼの化学作用を増進させるようである。この 影響も、癌促進と関連があるとされている。これ らに加えて、ELFの電磁界は細胞のギャップ結合 の機能を撹乱させ、これもまた癌の成長に関連す る影響とされている。

ELFの電磁界には、研究を複雑にする奇妙な側面があることを発見した研究がいくつかある。化学的な発がん性物質と電離線は線形で作用すると考えられている。つまり、これらの危険は照射レベルが上昇すればするほど高くなるということである。ELFの影響の中には電磁波の強さに対して

も同様の関係、つまり、強くなるほど影響を増すという関係を示すものもあるが、"ウィンドウイフェクト"、すなわち、ELFの電磁界がある特定の強さ(または特定の周波数)のときにのみ生物への影響が発生し、それ以上およびそれ以下の数値では発生しないということを発見した研究もある。さらに、ELFのウィンドウエフェクトは、地球の磁界のように、静電界と静磁界の存在と方向に依存するようである。たとえば、ひよこの脳組織を調べた研究によれば、カルシウムイオンの束は、周波数 60Hz の ELF の電磁界を 1 メートル当たり 35V、40V、42.50V の強さにしたときには変化が発生したのに対し、その強さを 1 メートル当たり 25V、30V、45V にしたときには何の影響も発生しなかったことが明らかになっている。

健康科学の研究者にとっては、ウィンドウエフェクトが存在するという可能性だけではまだまだ心配である。その効果が現実にある(その存在について今でも疑問が残っている)のであれば、適切な照射基準を設ける妨げとなる。人間の身体の大きさや形の違いは、ELFの電磁界によって体内に誘導される電圧と電流の強さに影響を与えるため、ELFの電磁界の影響は、それを被曝する個々人によっても異なることになる。

問題を一層複雑にしているのが、ELFの電磁界の波形で、これが生物への作用に影響するらしいのである。作用力が最も低いのは、商用電力の正弦波で、逆に作用力が最も高いのが、レーダーが生成するようなパルス電磁界とのこぎり波形の電磁界で、これらの発生源として代表的なものがテレビやモニタの走査回路である。

モニタは古くなると電界や磁界の発生量が増え、これらはほとんどの場合装置の上部か左側から放出される。しかし、現在ほとんどのメーカーでは、スウェーデンの測定試験委員会(国際的にはそのスウェーデン語のイニシャルのMPRで知られている)が同国で採用している厳しい放射基準を満たす新製品の設計を進めている。

MPR 基準

スウェーデンの安全基準は、X線、静電界、低 周波電界、低周波磁界など、モニタの放射の多面 にわたっている。実際には、スウェーデンには 2 つの規格がある。古い規格 (現在は MPR I と呼ばれている) と 1990 年 12 月に発布された新しい規格「MPR II」である。MPR I では周波数が 1 kHzから 400 kHz までの範囲の交流磁場にのみ焦点を合わせたものだったが、「MPR II」では基準の範囲を電界と磁界の両方に拡大し、その周波数対象範囲も 5Hz まで下げている。この改定はユーザーとメーカーの双方にとって重要な意味を持っている。MPR I にしか準拠していなくても、メーカーの中には自社の商品がスウェーデンの規格を満たしていると主張しているところもある。だが、MPR Iが取り扱っているのはモニタの放射の一面だけであり、基本的には水平走査周波数だけである。

MPR II の規格では、モニタの周辺のいろいろな箇所について、注意深く制御した条件下で、電界と磁界の測定を特別に実施することが求められている。電界と磁界はともに、モニタ周辺の数十ヶ所につき、通常の作業を行うような距離をおいて2つの帯域(5Hz~2kHzと2kHz~400kHz)を測定する。電界は、下の帯域では1メートル当たり15V未満、上の帯域では1メートル当たり2.5V未満でなければならない。磁界は、下の帯域では25ナノテスラ未満でなければならない。

スウェーデンの規格は世界で最も厳しく、これに 準拠しているということは、モニタが安全だとい うことの一番の保証である。しかしながら、MPR に準拠しているからといって、安全が完全に保証さ れているわけではない。これら低周波の電界や磁 界が安全であるか、そうでないかに分かれるレベ ルはまだ確定していないのである。実際、スウェー デンの規格で許容されている電磁界の強さでも生 物への作用があるとする研究もあるのだ。

放射線防護

研究の現状に基いて、ELFの電磁界が危険だと考えるなら、その電磁界に触れるのを最低限に抑える措置も取るのも1つの方法だろう。たとえば、コンピュータとディスプレイの正面に座ること。正面はELFの電磁界が最も弱いからである。コンピュータモニタの両側近く、特に左側近くに座る

のを避ける。コンピュータ機器が発生する ELF の 電界も磁界も距離が長くなると急速に弱くなるた め、人間工学的に良いとされる距離をコンピュー タとそのディスプレイとの間にとって作業を行う ことによって、それらの照射を最低限に抑えるこ とができる。ただしこの場合、コンピュータとディ スプレイと作業者との距離は、眼を細めなければ ディスプレイが見えなかったり、必要なものを取る のに手を無理矢理伸ばさなければならないといっ た長い距離にする必要はない。

モニタの ELF 放出レベルはコンピュータシス テムよりも多い。この放射は、CRT が使用する走 査信号に関係していると思われる。LCD ディスプ レイなどの代替技術に基づいたディスプレイを使用すれば、走査信号(空中にこれより充満している正弦波よりも危険性が高いと思われる)に関係する電磁界の発生を回避することができる。

コンピュータモニタがユーザーを殺すようなことはまずない。ELFに起因するとされる影響の最悪のものがたとえ本当だと判明したとしても、差し迫った健康に対する危険として恐らくもっと深刻なのは、(自分自身のものであれ、同僚のものであれ)体内に吸い込んでいるタバコの煙や、血管内のコレステロール、それに昼食のサンドイッチに塗るピーナツバターなどのほかの害から生じる危険である。

14.11 モニタの購入

モニタの品質を判断する最もよい方法は、実際にそれを見ることである。販売店まで出向いて、購入候補として考えているすべてのディスプレイを詳細に調べるのである。しかし、メーカーから電話やメールオーダーを使って直接購入する場合などは、事前に十分見ることができないだろう。さらに、モニタはかさばるため、抜け目のない交渉を行ってせっかく節約した金額を、運送費が軽く上回ってしまうことがあることも注意しなければならない。それでも、何を探すのかが判っていて、何を聞けばよいのかが判っていれば、自分の予算に見合った最適なモニタを確実に手に入れることができる。次に購入にあたっての注意点をいくつかあげておこう。

互換性の確認

どのモニタを選ぶにしても、最も重要なことは、そのモニタが、現在所有しているか、または使用を予定しているディスプレイアダプタで動くかどうかである。低価格のモニタを希望するのであれば、単一規格(固定周波数対応)のモニタで我慢して、節約すればよい。しかし、互換性を最大限に

高めるために、標準信号だけでなく、標準外の信号にも対応するマルチスキャンモニタが欲しい場合もあるだろう。

マルチスキャンモニタでは、モニタが受けつける水平同期周波数と垂直同期周波数の範囲と、自分のディスプレイアダプタが生成する信号の周波数が合っていなければならない。この点に疑問がある場合は、購入しようと考えているモニタが自分が所有しているディスプレイアダプタで動くことを、販売店に確認してもらったほうがよい。

CRTの品質の確認

カラーモニタの品質レベルで最も大きく異なる 点は、使用されているブラウン管である。同じ型 式やよく似た型式で、ブラウン管だけが違うモニ タを販売しているメーカーもある。注文する際に は、必要としている品質のブラウン管を入手する のが何よりも大切である。広告を注意深く読んで、 関心のあるモニタが使用している真空管の蛍光体 のピッチ(ドットピッチまたはスロットピッチ)を 確認すること。細かければ細かいほど(数字が小 さければ小さいほど)よい。

付属品の確認

箱を開けてモニタを取り出すだけで、自分のコ ンピュータに接続できると一般には思われている に違いない。しかし残念ながら、メーカーの中に は、最も重要な接続器具であるコンピュータとモ ニタをつなぐケーブルを付属させないところもあ る。したがって購入前には、モニタに必要なケー ブルが付属されているかどうかを確認する必要が ある。さらに、モニタが自分のディスプレイアダ プタにつながるかどうかも確認しなければならな い。一部のモデル、特に法外な値引きをして売ら れているモデルの中には、標準外の入力コネクタ (たとえば、VGA 規格の15ピン高密度 Dsubの 代わりに9ピン Dsub) を使っているものがいくつ かある。モニタを自分のディスプレイアダプタに 適合させるのにアダプタが必要な場合は、そのア ダプタが付属品セットに含まれていることを確認 すること。付属していない場合、必要なアダプタ が見つかりにくいこともあり、しかも間違いなく 高価であることに注意する。

また、自由にモニタの向きを変えられるチルトスタンドが付いていることを確認する。今日では、このスタンドはモニタの標準パーツと考えてもよいと思われるが、それでもまだ手抜きをしているメーカーもある。モニタにこのスタンドが付いていない場合は、スタンドを新たに用意する費用も計算に加えるのを忘れないこと。

運送費

メーカーからの直接購入の場合、運送費を計算に入れるのを忘れないこと。モニタは運送費が高くつくので有名である。14インチ以下の適当な大きさのディスプレイであれば、一般的にはユナイテッドパーセルサービス(UPS)の低価格の宅配便を使って送ることができるが、もっと大きなモニタになると、UPSが取り扱ってくれたとしても、恐らく重量超過代がかかる。大きな画面の高解像度モニタだと、UPSの制限重量よりも重くなり、どこか別の、料金がとて高い運送会社に依頼せざるを得ないかもしれない。

直接販売店へ購入に出かける場合は、各販売店 の配送システムをよく調べること。販売店の中に は、配送代として業者間の価格差を軽く上回る追加料金をとるところもある(大きな画面のものは特に)。数ドル高くなるが、郵税前払いで入手できるモニタもある。この方が、値段はもっと安くても、運送費とその上手数料の支払いまで要求されるものよりは安い買物であることが多い。

運送中の損傷の点検

モニタは運送費が高いだけでなく、運送中の衝撃に弱く、恐らくコンピュータ周辺機器の中で最も損傷を受けやすいものである。モニタを落とすと、コンバージェンスが変わってしまうこともある。しかも、必ず悪くなってしまうのだ。

モニタを受け取ったら、どこかに損傷が隠れていないかを必ず点検すること。外籍には運送中のひどい取り扱いの跡(角がつぶれたり、厚紙が破れたり、タイヤの跡があったりする)がなくても、モニタを角から角まで完全に点検すること。特に、電源が入るかどうか、そして画面の角でもコンバージェンスに問題がないことを確認する必要がある。

保証の検討

もしモニタが、部品がなくなって箱の中をがたがたと動き回る状態で到着したり、はっきりと見るのに3次元メガネが必要となるような画像だった場合、その調子の悪い装置をわざわざ海の向こうのメーカーの物流倉庫まで送り返したりはしたくないだろう。代わりに、すぐに代替品を送ってもらうか、現場で修理をしてもらうかのいずれかであればよい。

低価格と引き換えに両方とも諦めなければならないことがある。しかしそれでも、注文する際には、販売店のサービス方針を知っておくべきである。代替品を手に入れるまでどのくらい時間がかかるか、あるいは、欠陥品を返送して、修理後送り返してもらうのを待たなければならないのかどうかを確認しておく必要がある。販売店にサービス部門がない場合は、メーカーのサービス方針を確認し、最も近い修理センターの場所を調べておくこと。電話をして、モニタを修理して送り返してもらうまでにどのくらいの時間がかかるかを調べておく必要があるだろう。

モニタは、パーソナルコンピュータに接続する 周辺機器のどれと比べても信頼性は劣らないが、 問題が起こったときの修理代はほかよりも高くな ることが多い。したがって、モニタの保証の期間 と保証の範囲は考慮すべき重要なポイントとなる。

メーカーの中には、ブラウン真空管を別に保証 しているところがあり、その保証期間はモニタ自 体よりも長いことがよくある。保証範囲にこれが 追加されていることは重要である。ブラウン真空 管はモニタの原価の半分以上を占めていることを 忘れてはいけない。

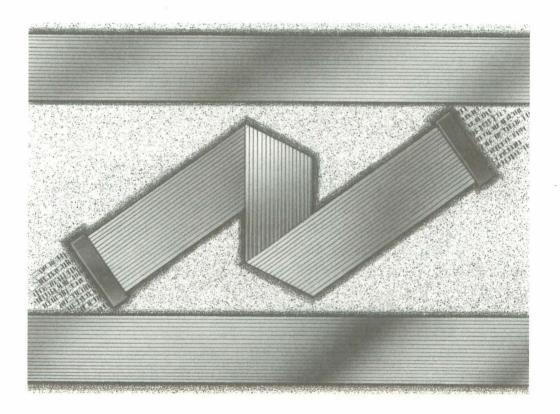
また、保証のサービスはどこで、どのように受けられるのかということも忘れずに確認する必要がある。最悪の事態が生じた時でも、せめて簡単にモニタの故障を直せる手立てがあれば安心であろう。

を表している。 では、アウマールのでは、 では、アンストールという。 では、アンストールという。 では、アンストールという。

会におります。 ではないがあっている。 を対している。 をがしる。 をがし。 をがしる。 をがしる。 をがしる。 をがし。 をがしる。 をがしる。 をがしる。

第15章

パラレルポート



パラレルポートは確実かつ便利で、高速伝送が可能な、そしておそらくパーソナルコンピュータの中では最もトラブルが少ない、周辺機器との接続部である。かつてはプリンタ専用として使用されていたが、その後は、この高速で確実なパラレルポートを利用する周辺装置は増え続けている。しかし、パラレルポートと一口にいっても、いくつかの種類があり、接続も異なっている。このため、たとえばプリンタ用のポートを使ってファイルを転送しようとしてもうまくいかない場合もある。これはすべてポートの設計が異なるためである。

パラレルポートという用語は、プリンタポートとほとんど同義である。パラレルという言葉は、このポートが、1本のケープルにまとめられた8本のワイヤで信号を伝送する(1バイトのデータの1ビットを1本のワイヤで8本同時に伝送する)ことに由来している。パーソナルコンピュータから並行に伸びた信号線は、同じ目的地に向かって進む。IBMは、このパラレルポートを、PCに付属のプリンタ用の接続として採用したのである。

論理的には、8本のワイヤは1本のワイヤを使うより、8倍速くデータを伝送できる。パラレルポートは、パーソナルコンピュータと同じ方法で、つまりビット単位ではなくバイト単位でデータを処理しているという意味では、本質的にはシンプルな設計といえる。それゆえ、IBM もパラレル設計をプリンタの出力用に選んだのである。

今日でも、プリンタとパーソナルコンピュータを接続する方法としては、パラレルポートが最も簡単で最も確実であることに変わりはない。パラレルポートは、接続するだけでプリンタが確実に動作することが見込めるのである。たとえ動作中に不備が現われたとしても、それはパーソナルコンピュータとパラレルポートとの接続には何の関係もない。パラレルポートは、パーソナルコンピュータの世界では数少ない "プラグアンドプレイ"接続の1つなのである。

プリンタの中には、IBM のパラレルポートの規格に対して拒否反応を示し、場合によっては永遠に機能を停止してしまうものもある(ありがたいことに元々少ないその数は今日ではさらに減ってきている)。その上、新たに現われたほかの周辺機器は、パラレルポートの高速性と柔軟性を利用しようとしており、それらは、古い仕様のパラレルポートではサポートできないような機能を必要としている。パラレルポートはどれもみな同じと思っている人は、高速なデータのやり取りに安価なアドインポートを使用しようとすると、きっと驚くに違いない。

パラレルポートを見ても、外観からはその違いはわからない。また、プリンタとつないでいるときは、動作上にもその差異は見られない。ほかのほとんどの製品と同じように、パラレルポートの違いは、それを限界の状態で使用したときにのみ現われるのである。今日、パラレルポートは、アプリケーションや周辺機器がその性能に対する要求を増すにつれて、本当の姿と限界を徐々に示しつつある。

15.1 データのパラレル伝送

パラレルポートは、情報伝達の方法に対するハードウェアエンジニアの概念をそのまま反映したものである。2つの点をワイヤでつなぐことによって、ある場所にある信号が、それが必要とされている別の場所に接続される。信号が1つ増えれば、ワイヤも1本増える。8個のデータ信号は8本のワイヤで送受信される。行き来するすべての信号(たとえば、接続された2つの装置の一方がデータを受け取る用意ができていることを示すなど)は、それぞれ個別にワイヤがいる。

この設計は、少ない数のワイヤで複数の信号を一緒に処理する際に必要となる複雑な回路の代わりになる。実際、接続全体はあやつり人形のような仕組みで動いているのだ。このたとえに従えば、パーソナルコンピュータはプリンタなどの離れた場所にある装置を、その装置固有の線を操って動かしているというわけだ。パラレルポートの動きはこれほど単純なシステムなのである。

この仕組みには、データの流れを妨害するような変換回路がない。さらに、8本のワイヤは、情報のための高速道路のような役目を果たしており、1ビットと同じ速度で1バイトを移動させることができる。

設計者が、時間とポート回路で節約した分の代償は、ケーブル費用となる。たとえば、電話が使用する2本のワイヤとコンピュータのシリアル回路の代わりに、パラレルポートなら最低でも8本のワイヤ(1ビットに1本)と接地線と制御信号が必要である。IBMの設計なら25本のワイヤが必要だ。この意味は大きい。これほどの数のワイヤをまとめたケーブルは太くて、ちょっとやそっとでは曲がるものではない。たとえば、壁にそってマシンを置こうとしても、このケーブルのおかげで、壁とマシンとの間に相当のスペースが必要となる。同様に、ワイヤおよび信号の数に合わせてコネクタも大きくなる。また、ワイヤが増えれば、ケーブルとコネクタをつなぐためのはんだ付けにかかる時間も長くなる。

それでもパラレルインターフェイスに換えるということは、太いケーブルの費用は、余分なポート回路の費用に十分見合うからである。プリンタケーブルを製品に付属させず、ユーザー側に購入させているコンピュータメーカーの立場を考えれば、パラレル設計の持つ意味が理解できるだろう。パラレル接続においては、ケーブルのコストだけが欠点ではない。パラレルポートの"パラレル"という性質も、電気的な意味からは大きな問題である。データおよび制御信号は、ケーブルの狭い経路を一緒に移動しなければならない。移動する信号がこれらだけならば問題はなく、実際、そういう場合、パラレルポートは良好に動作する。し

かし、複数の信号が一緒に移動すると、その過程

で信号同士が相互に反応し合う可能性がでてくる。 このように、1本のリード線の信号がほかのリー

ド線の信号に干渉して発生するトラブルを、クロ

ストーク(混線)という(電話システムでも、同様

の仕組みで混線が発生する)。

ケーブルが長くなると、干渉が発生する可能性も高くなる。このため、ほとんどのメーカーは、パーソナルコンピュータで使用されるようなパラレル接続は、トラブル防止のために10フィート以下にするように推奨している。コンピュータとプリンタの組み合わせによって、パラレルポートのクロストークに対する感度も変わる。システムによっては最大50フィートもの長さでも良好に動作するものもあるし、10フィート以上になると止まってしまうシステムもある。自分のシステムでどのぐらいの長さのケーブルが使えるかは、実際試してみないとわからない。

もし、コンピュータとプリンタを10フィート以上離して、長いケーブルや延長ケーブルを使用してうまく動作していない場合は、短いケーブルに換えてみたほうがいい。パラレルケーブルを短くしておけば、トラブルの防止ができる。パラレルケーブルの許容範囲を超える長さが必要なら、シリアル接続に変えるしかない。

15.2 IBMパラレルポート規格

最初の PC に採用され、現在の規格でもあるパラレルポートを設計するにあたって、IBM は、かつて業界で支配的な立場にあったプリンタメーカー、Centrinics が設定した制御信号のパターンに従うことに決めた。IBM がこの設計を借り受けて設計を行った当時には、この規格は正式なものになっていなかった。というのも、セントロニクスは、コンピュータプリンタを巧みに制御する制御信号を開発したばかりだったのである。IBM がセントロニクスのこの設計を採用したのに合わせて、ほかのプリンタメーカーもこれを採用していった。

コネクタ

しかし、IBM はパラレルポートコネクタについては独自の道を進むことを選んだ。本当のセン

トロニクスのプリンタポートが 36 端子のアンフェノールコネクタを使用しているのに対して、IBM は 25 ピン Dsub コネクタを選んだ。それ以来、プリンタメーカー側が 36 ピンの設計に固執し、一方の IBM やほかのほとんどすべてのコンピュータメーカーは 25 ピンの規格を維持している。このため、異なる規格を持つこれらのプリンタとコンピュータを接続するたためには、ほとんどの場合特殊なケーブルが必要である。幸いにも、一般に販売されているパーソナルコンピュータは、この特殊なアダプタケーブルを標準の付属品としている。自分専用のアダプタケーブルを標準の付属品としている。自分専用のアダプタケーブルを標準の付属ことしている。自分専用のアダプタケーブルを標準の付属ことしている。自分専用のアダプタケーブルを携続の一覧を示した。

表 15-1 IBM パラレルプリンタケーブル

25 ピンコネクタ側	36 ピンコネクタ側	25 ピンコネクタ側	36 ピンコネクタ側
1	1	14	14
2	2	15	32
3	3	16	31
4	4	17	36
5	5	18	19-30、33
6	6	19	19-30、33
7	7	20	19-30、33
8	8	21	19-30、33
9	9	22	19-30、33
10	10	23	19-30、33
11	11	24	19-30、33
12	12	25	19-30、33
13	13		

片方向と双方向

もともとパラレルポートは、プリンタ出力の役目のみを果たすように考え出されたものであったため、データの流れは一方向、つまり、パーソナルコンピュータからプリンタの方向にのみ進み、一

部の制御信号だけが逆向きに進むように設計されていた。したがって、初期のパーソナルコンピュータはいずれも、装備しているパラレルポートは片方向のものであり、データを送信はできても受信することはできなかった。

この片道送信という性質はポート本来の電気設計の結果であった。つまり、パラレルポートの設計では、意味を表わすレベルの電流を供給することができないのである。ポートのデータラインの1つを接地してデータを送ろうとすると、ポートの回路が破壊する可能性があるのだ。IBMは、すべての装置でポート出力の向きの変更を禁じることによって(実際にポートへ情報を送ることはできない)、データの受信用としてパラレルポートを使用することができないようにしている。

最初の PC を発表したときに、IBM がこの設計を再考したことは明らかだ。パラレルポートを双方向の通信ができるようにしていたのである。しかしながら、IBM は、PS/2 ラインの製品を発表するまでは、双方向送信を正式にはサポートしなかった。

しかし実際には、ごく初期のIBMのパーソナルコンピュータには、パラレルポートのサポートが組み込まれており、これによって様々なデータラインを読むことができた。データラインを直接接地しないように(たとえば、電流を低く保つために、抵抗を介してデータラインを制御することなど)気を付けてさえいれば、最も初期のPCでさえ、パラレルポートを双方向で使用することができるのである。IBMの設計では、システムは2.6mAの供給が認められているため、2.2K Qの抵抗で十分である。PCのパラレルポートは最大24mAまで流す(引き込む)ことができる。

双方向ポートよりも片方向ポートのほうが作るのが簡単で、費用も安いという点以外は、両ポートにおける問題全体は実際の使用には関係ないものである。正しいコンピュータメーカーはすべて、自らの製品に双方向のパラレルポートを搭載しているのに対し、安価なパラレルアダプタやマルチファンクションボードのメーカーは、回路を切り詰める傾向にある。片方向のバッファを持ったパラレルポートを装備することもありうる。

パラレルポートを使ってプリントアウトしか行わないのであれば、ポートは片方向でも双方向でも関係ない。しかし今日では、SCSIアダプタを始めとして、ネットワークアダプタ、データ変換システムなど、パラレルポートに接続する多種多

様な装置が出てきている。これらはすべて、パラレル接続の高速性を前提として設計されており、 安いパラレルアダプタの片方向ポートでは動作しない。

ポートの割り当て

パーソナルコンピュータの各パラレルポートは、 論理的にはシステムのほかの部分と3つのI/O ポートを介して接続されている。これら3つの ポートのうち、1つはパラレル接続へデータを移 動させるのに使用される。一般には、マイクロプロ セッサがプリントアウトされる情報をメモリから 検索し、それをパラレルアダプタが使用するI/O ポートへ送る。このデータは単にバッファされ、パ ラレルコネクタへと送られる。ほかの2つのI/O ポートは制御信号の操作と、プリンタへ出力され た信号のモニタと、プリンタの動作状態を示すた めに使用される。

パーソナルコンピュータの基本的な設計では、それぞれが自分専用の3つのI/Oポートを持つパラレルポートを最高3つまで搭載できる。3つのI/Oポートアドレスの3つの範囲がパラレル用として確保される。これらはそれぞれ03BCh、0378h、0278hのベースアドレスを設定されている。どのシステムでも、これらのI/Oアドレスの3組は個別に1つのパラレルポートへ割り当てられなければならない。2つのパラレルポートで同じベースアドレスを共有することはできない。

これらの中で1番目の03BChは、もともとはIBMのMDA(モノクロディスプレイアダプタ)カードに搭載されていたパラレルポート用として予約されていたものだが、専用のディスプレイアダプタを内蔵していたPS/2ではMDAカードが使用できなかったため、これと同じセットのアドレスが、PS/2に標準搭載されていたパラレルポートに割り当てられたのである。システムボードビデオシステムを持ったほとんどの互換機も、オンボードのパラレルポート用にこのアドレスを使用している。ほかの2つのスタートアドレスは増設用のパラレルポートに使用するのが一般的である。

マザーボードに実装されるビデオのない互換シ

ステムは、MDA ビデオアダプタを搭載する可能性があるため、03BCh ポートの使用を諦める場合が多い。その代わりに、このようなシステムには、一般にジャンパスイッチや DIP スイッチを使って、ポートが使用するアドレスの割り当てを変更するために、通常 0378h のベースアドレスが用意されている。

装置の名称

日々の作業の中で、I/Oベースアドレスを使う必要性はまったくない。パラレルポートを指定する必要がある場合は、その代わりに DOS 用の名称を使用することができる。システムがサポートしている 3 つのパラレルポートには、それぞれ "LPT1"、"LPT2"、"LPT3"という名称があてられている (LPT は Line PrinTer を省略したものと考えればよい)。"PRN"という装置名は、LPT1に相当する。

しかしながら、これらの名称は必ずしも特定の I/O ポートアドレスにマッチしているわけではない。ブート時には、BIOS コードはサポートされている 3 つのベースアドレスのそれぞれでパラレルポートを検索する。検索はつねに 03BCh、0378h、0278h の順で行われる。システムの中に見つかった最初のパラレルポートには LPT1、2番目のポートには LPT2、3番目のポートには LPT3 の各名前が割り当てられる。モノクロディスプレイアダプタもしくはパラレルポートを内蔵した PS/2では、そのポートが常に LPT1になる。使用できるポートの値は、絶対メモリアドレス 0000:0408 で

始まる BIOS のデータエリアに、各ベースアドレス値を格納するために確保されている 1 つの 16 ビットワードと一緒に格納されている。

この割り当て方法によって、どの I/O ポートがパラレルポートにアサインされたかは別にして、少なくとも 1 つが LPT1 (PRN) 装置として存在することが確認できる。しかし、万一2 つのポートが同じ I/O ベースアドレスに割り当てられていると、そのシステムは両方のポートに同じ名前を割り当ててしまうため、どちらも同じように動作することになる。

ポートの制限

パラレルポートは多くの製品で組み込まれた形 で装備されているため、パーソナルコンピュータ のパラレルポートの数が思った以上に多いことが よくある。したがって、余分なポートは追加して いないつもりでも、簡単にポートの衝突が起こり うる。実際、このことを知らなければ、ユーザーが IBM で公式に認められているパラレルポートの最 大数である3つを超えて、ポートを追加してしま う可能性さえある。さもなければ、同じ1つのポー トと思って2つのポートを作ってしまい、システ ムの混乱とクラッシュという有害な結果に至らせ ることもあるかもしれない。システムにパラレル ポートを追加する前には、すでにインストールさ れているポートの数とベースアドレスを確認した ほうがいいだろう。これらの確認には DEBUG プ ログラムか、市販の機能レポートプログラムが使 用できる。

15.3 パラレルポートの信号と接続

パラレルポートのコネクタの25個の端子のうち19個は、データの伝送というごく平凡な機能に使用される。表15-2は、標準のIBMパラレル

ポートコネクタで、各端子のどの機能が割り当て られているかを示したものである。各機能につい ては次の項で述べる。

25 ピンコネクタ	機能	25 ピンコネクタ	機能
1	ストローブ	14	オートフィード
2	データビット 0	15	エラー
3	データビット1	16	入力のイニシャライズ
4	データビット2	17	セレクト入力
5	データビット3	18	接地
6	データビット 4	19	接地
7	データビット5	20	接地
8	データビット 6	21	接地
9	データビット7	22	接地
10	アクノリッジ	23	接地
11	ビジー	24	接地
12	ペーパーエンド	25	接地
13	セレクト		

表 15-2 IBM パラレルケーブルのピンアサイン

データライン

プリンタに送られて印字される情報は、まず、1 バイトの ASCII コードの各ビットに 1 本、つまり合計 8 本のデータラインにロードされる。信号は、標準の TTL 電圧になっており、公称 5 V のハイレベルで論理 1 を表わし、0 V のローレベルで論理 0 を表わす。

ストローブライン

データラインにデータをロードしただけでは、プリンタにキャラクタを打ち出す指示としては十分ではない。データビットは絶えず変化しており、8本のラインが同時に正しい値を送り出しているという確証が(実際にそうであるとしても)システムにはないため、プリンタは送られきたキャラクタを1回印字すればいいのか、それとも続けてもう1回印字すべきなのかを知る手立てがないのである。したがって、この場合には、コンピュータがデータラインへデータのロードを完了したということと、キャラクタが印字できるということを示す信号が必要になる。ストローブラインはまさにこの目的で使用されるものである。

IBM のパラレル方式におけるストローブ信号は、負論理である。データビットの用意ができていない間はハイの状態になっており、1 バイトの

データを送信するときにローレベルに下がる。

データ信号とストローブ信号のタイミングは重要である。プリンタ回路が正しい値を認識できるように、すべてのデータラインはストローブ信号がトリガされる前に、正しい値にいなければならない。この場合に必要な時間は約0.5マイクロ秒である。これに対し、ストローブ信号は、1マイクロ秒以上継続しなければならない(たったこれだけでも、プリンタがこの信号の存在を認識するのに十分な時間である)。そしてこれに続いて、データ信号が0.5マイクロ秒存在して、プリンタ回路にデータが正しく認識されるのである。また、両者の信号が重なるとエラーが発生する。

ビジーライン

このデータ信号~ストローブ信号~データ信号のプロセスには、1キャラクタあたり最低2μsをさいている。この速度なら、パラレルインターフェイスは1秒あたり500,000個のキャラクタをプリンタの中へダンプすることができる。一方プリンタには、データが送られてくるのを待たせて、用紙へのキャラクタの打ち出しでビジーの状態にあることをコンピュータ側に知らせる手段が必要である。これがビジー信号で、プリンタからコンピュータへ送らることで任務を完了する。プリン

タは、ストローブ信号を受け取り、キャラクタの 打ち出し作業をスタートするとすぐに、ビジー信 号をハイレベルに変化させる。

ビジー信号は、プリンタが次のバイトのデータを受け取る体制を整えいる間は、ハイレベルに留まる。ビジー信号のこの状態は、バッファにデータがロードされた瞬間、もしくは、バッファがいっぱいになったり、印字リボンが絡まったり、電源投入後で初期化が完了していない状態のときなど、プリンタが印字する文字を受け付けることができない間、持続する。

アクノリッジライン

ビジーラインが否定的な意味を持つ信号である (*データを送るな"という意味を表わす)のに対し、それ以外のパラレルポートの信号は肯定的な意味を持つフロー制御に使用される。アクノリッジラインは、プリンタからコンピュータへ送られる信号で、これによりコンピュータは、前のキャラクタが正しく受信されて用紙に打ち出され、プリンタは次のキャラクタを受け取る準備ができていることが分かる。ストローブ信号同様、アクノリッジ信号も通常はハイレベルであり、ローレベルになることによってプリンタの準備ができたことを示す。一般的に、この否定信号は8μs継続する。

プリンタからのフィードバック

パラレルインターフェイスは、ただ単にデータを移動させるだけではない。プリンタがその動作の様々な局面にあることをホストコンピュータに知らせるために、パラレル回路の専用ラインがプリンタに使用されている。信号は、プリンタの準備ができており、ジョブを行える状態にあることをコンピュータに知らせる。実質的には、これらの信号によって、コンピュータには簡単な遠隔感知機能が与えられたことになる。

セレクト

セレクトラインは、プリンタが選択されている ことを示すものである。"選択されている"という ことは、オンライン状態にあり、情報を受け取る 用意ができているということである。セレクトラインは、プリンタのフロントパネルのオンラインランプとまったく同様の働きをするが、目に見える動作ではなく、パラレルポートを通してその働きは示される。

このラインは、プリンタがオンライン状態のと きにハイになる。したがって、当然ラインがハイ になっていなければ、パラレルポートはデータを 送らない。

ペーパーエンプティ

プリントアウトの作業中に最もよく出会うトラブルといえば、用紙切れである。用紙切れになった場合、プリンタはすぐにビジー信号をハイにする。これによってコンピュータはプリンタにデータを送り込むのを中断する。しかし、プリンタは同時にそれ以外の情報も出力する。つまり、何が起こっているのかをユーザーに知らせるのである。

発生した問題の性質をコンピュータに正確に伝えるために、プリンタはペーパーエンプティラインをハイにする。セレクトラインと同様に、このラインもプリンタの用紙切れランプとまったく同じように動作するが、それだけでなく、コンピュータが理解できる形式でその信号を伝達する。

フォルト

フォルト信号は、プリンタのほかのトラブルを一切合財入れる箱のように使われている。この信号によって、正確な内容は分からないにしても、何らかのトラブルがプリンタに発生していることが、コンピュータに伝えられるのである。プリンタで発生しうるすべてのトラブルを示すには、ケーブルのワイヤの数が足らないため、このような方法が採られている。たとえば、プリントヘッドのチェンバーが開いているとか、プリントヘッドが止まったとか、プリントヘッドが何も打ち出さない(たとえばドライブベルトの故障など)など、プリンタが自分で検出できるエラー状態がすべてこのフォルト信号でまかなわれている。

フォルト信号は負論理である。通常はハイに保 たれており、エラーが発生するとローになる。多 くのプリンタでは、多重の防護策が講じられてい る。何かが故障した場合は、すべてのフラグが上がり、ビジー、セレクト、フォルトすべてが警告 状態になる。

コンピュータの制御

IBM のパラレルポート設計では、ポートに直結された信号を使ってプリンタの様々な状態を制御するために、3つの追加信号が使用されている。これらの信号はプリンタを初期化し、オンライン状態に切り換え、行送りを制御する。

コンピュータとプリンタは互いに完全に独立した装置であり、個別に拡張したり、モデルチェンジできる。つまり、プリンタにおいては、コマンドを送って、新しいフォントを設定したり、文字ピッチを変えるなど、操作が変更でき、一方、コンピュータ側は、自分がプリンタに送るコマンドに絶えず注意するようなことはしないため、たとえプリンタがグラフィックスモードになっていて、47ページもの月次報告書を無定形のしみとして印字するモンスターに変身していても、コンピュータのほうではその違いにまったく気がつかない。

しかし、プリンタはつねに同じ設定でスタートする。つまり、フォント、文字ピッチ、モードはすべて、既定の方法でプリンタに送られているのである。プリンタの電源をいったんオフにしてから再び電源を入れて、重要なオペレーティングパラメータすべてを初期化すれば、プリンタを再びこの状態に設定することができる。プリンタのイニシャライズまたはインプットプライムは同じ結果をもたらす別の手段である。これはプリンタ用のリセットボタンのようなもので、このラインを

ローにドライブすれば、プリンタは自分自身を初 期化してブートアップ操作を実行する。

セレクト入力

プリンタの中には、コンピュータホストによってオンラインとオフラインを切り換えるように設計されているものがある。この切り換えを命令するのに使用される信号を、IBM はセレクト入力と呼んでいる。この信号がローのとき、プリンタはデータを受け付け、ハイのときにはデータを受け付けない。多くのプリンタでは、このラインを常時ローに固定する DIP スイッチを使って、ユーザーがこの制御を無効にできるようになっている。

オートフィードXT

プリンタの中には、改行によって、用紙が自動的に次の行の始めの位置に進むものと思っているプリンタもあれば、改行は単に現在印字中の行の始めにプリントヘッドを戻すだけであると思っているプリンタもある。ほとんどのプリンタは、ユーザーが DIP スイッチを使って、プリンタのキャリッジリターンに対する反応の仕方を、このどちらかに設定できるようになっている。

オートフィード XT 信号は、コンピュータ側にその選択権を持たせるものである。この信号をローにしていれば、キャリッジリターンを検出したとき、プリンタは自動的に1行進めるように命令される。逆にハイになっているときは、次の行まで用紙を進めるのにラインフィードキャラクタが必要になる。

15.4 パラレルポートの性能

パラレルポートの動作速度は、多くの要素によって左右されている。まず、ケーブル自体によって、使用できる信号の周波数が制限される。ただし、ケーブルが約10フィート以下であれば、パラレルポートのデータスループットにケーブルの及ぼす

影響はわずかである。これに代わってパラレルポートの性能を左右するのは、通常のパラレルポートのフロー制御に使用されるストローブ信号とアクノリッジ信号の変化する速度である。システムのタイミングが、これらの信号の最小の長さになる

ように設定されている場合、1 つのキャラクタ伝送サイクルは約 $10~\mu$ s である。これは、1 秒間に100,000 バイト、つまり、800,000 bps という速さである。高性能のモデムが9,600 bps であることを考えれば、これがいかに高速であるかがわかるだろう。

この動作速度が IBM 規格に準拠したパラレルポートの最高速度であり、また、実際にはなかなか達成できない速度でもある。転送されるキャラクタはいずれかの場所から持ってきて、どこかほかの場所へ転送しなければならない。接続の両端のオーバーへッドを考慮すると、通常のパラレルポートの流れの速度が実質的に低下する。たとえば、コンピュータなら、アクノリッジ信号を受け取ったあと、それを理解するために BIOS ルーチンを実行して、それから次のキャラクタをパラレルポートにロードし、最後にストローブ信号をポートに送信しなければならない。プリンタは、専用のバッファが装備されていても、キャラクタを受け取るたびに、この儀式のような作業を行わなければならない。

このように、パラレルポートの速度は、パーソナルコンピュータのマイクロプロセッサの性能によって変わる。マイクロプロセッサが高速になれば、このオーバーヘッドのすべてを処理する速度も速くなる。バッファに直接キャラクタを詰め込んでいく時代遅れの PC や XT の場合、データ速度は最高 9,600bps の速度で動作するシリアルポートと、

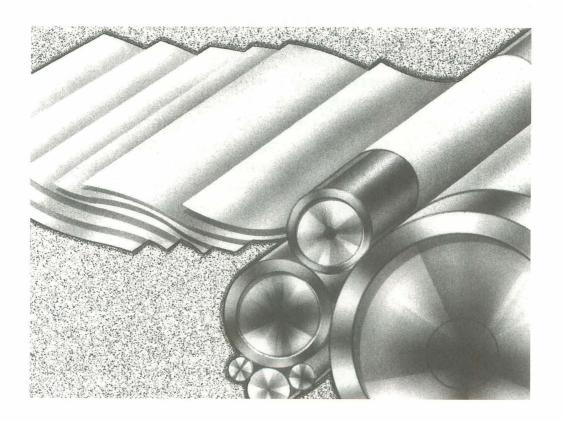
ほどんど変わらないと考えることができる。一方、 最近の486ベースのコンピュータになると、大抵 パラレルポートのスループットは最高300,000bps にもなり、場合によってはそれ以上のこともある。

今日の最高性能のパーソナルコンピュータでも、このマイクロプロセッサのオーバーヘッドが、パラレルポートの論理上の限界により近い性能を獲得しようとする際の壁となっていることに変わりはない。これに対し、バスマスタ技術を使って最高伝送速度に一層近づいているマシンもいくつかある。バスマスタパラレルポートを使用すると、パラレルポートへのデータの伝送は、マイクロプロセッサの介在なしでDMAコントローラで行うことができるようになる。高速なDMAシステムの場合、データのスループットは限界にまで近付くことができる。バスマスタパラレルポートを内蔵した最初のシステムはIBM PS/2のモデル90と95である。

しかしながら、パラレルポートに対するデータのスループットよりも重要なのは、パラレル制御という骨折り仕事からマイクロプロセッサを解放することである。DMAシステムへこの作業の責任を移すことによって、マイクロプロセッサは自身の帯域幅の多くを取り戻すことになる。結果として、システムの全体的な性能が向上し、特にマルチユーザー環境、またはマルチタスク環境でそれが顕著である。

第16章

プリンタとプロッタ



パーソナルコンピュータに取り付ける外部周辺機器の中で最も一般的なものといえば、プリンタである。コンピュータ内部の無形の思考内容を物質世界のハードコピーに変換する基本的な手段としてプリンタがあることを考えれば、これには疑いの余地はないだろう。パーソナルコンピュータの思考内容を紙の上に打ち出すために、プリンタには多岐にわたる技術が用いられている。そして、それらの技術には各々固有の長所と短所がある。

プリンタという用語は、データ処理に関する用語の中では最も広義なもので、その中には、ハンマーや水鉄砲、フラッシュライトといった広範な技術の応用が統合されている。さらに、ほかのどの周辺機器と比べても、性能の範囲がこれ以上に幅広いものはない。たとえば、動作スピードひとつとってみても、眠っているかと思うような遅いものから電光石火の如き高速なものまで、あるいは、関節炎にかかった人が片手を背中に縛りつけてタイプするよりも遅いものから、「スピーディゴンザレス」がアンフェタミン入りのタコスをがつがつ食い終わるよりも速いものまで、実に様々である。さらに、筐体は、重さ1ポンドの持ち運び可能なものから縄で縛られた怪物のように大きなものまで、デザインも、新石器時代の石器のような単純なものから、バットマンの「夢魔」のような複雑怪奇なものまで、といったぐあいである。ドットによる印刷とはいえ、活字の品質が専門の印刷屋に劣らぬものもあり、プロッタが赤面してしまうほど、高速かつ鮮明に図形を描けるものもある。プリントアウトされてから2年経ったものでも、なお鮮明な出力結果を作るものもある。

したがって、プリンタを分類すればその範囲はたいへん広いものとなる。実際に、印字品質、印字スピード、使用されている技術、用途、重さ、色、そのほか数え切れないほどの設計要素(もちろん実用性という点で逸脱しないもの)を基準に、プリンタの分類が可能である。

プリンタ技術について、あらゆる方向からひとつひとつを確定的に論じるのは、果てしのない話である。プリンタ技術は絶えず変化している分野であり、新技術が次から次へと生まれているのに加えて、古い技術も再生され、改良を加えられているからである。旧式の機械にも新たな改良が加えられ、一見時代遅れと思われるようなアイデアも繰り返し使われているのである。

16.1 プリンタのメカニクス

コンピュータプリンタという用語は総称で、実際その中にはいくつもの種類の装置が含まれる。飼い猫を敷き皮の上からどかす方法がたくさんあるのと同様に、用紙にインクをつけるというプリンタの典型的な作業を機構的な側面から見るだけでも、コンピュータの出力を紙の上に表わす方法は1つばかりでないことが分かるだろう。

インパクトプリンタ

プリントするために、機械的な仕組みによって 用紙に力を加えるかどうかという点で、プリンタ の技術は大きく2つに分かれる。インパクトプリ ンタといえば、用紙に強い力を加えてプリントア ウトを行うものを指す。一方、ノンインパクトプ リンタは、用紙を送ったり押さえたりする際に多 少の力を加えることはあっても(場合によっては 紙に電気を加えることもあるが)、プリントのた めに、何かを強く打ち付けるようなことはけっし てしない。ノンインパクトプリント技術の場合は、 レーザー光線から、用紙上に顔料を焼き付ける小 型トースタのような発熱体や、用紙にインクを吹 きつけるインクバブルに至るまで、様々な技術を 用いてプリントを行っている。ノンインパクトプ リンタに共通な特徴はただ1つ、イメージを紙の 上に残す過程で、強制的な力を一切用紙に加えな いということである。

■起源はタイプライタ

プリンタの中で低価格商品として最も普及しているのは、インパクト技術をベースにしたプリンタである。インパクトプリンタはすべて、元々はオフィス用のタイプライタから生まれたものであり、タイプライタを知ることがインパクトプリンタを理解する早道となるだろう。

旧式のタイプライタは、自分で分解して組み立て直したことのある人なら分かるように、機構的には複雑だが、その動作原理はきわめてシンプルである。カム、レバー、キーをすべて取り外して

みれば、タイプライタの本質部分はハンマーであることが分かる。

ひとつひとつのハンマーがインクリボンにぶつかると、インクリボンは用紙に押しつけられ、そのときのハンマーのインパクトにより、用紙にインクが付着する。紙の繊維に吸収されたインクは、リボンにぶつかったハンマー部分に形成されているマークなりイメージ(アルファベットなど)を、目に見える形で紙の上に残す。これがタイプライタの仕組みである。

インパクトプリンタはいずれの場合も、この基本的なタイプライタの原理をベースにしている。 Christopher Shole の最初の「プラテンペッカ」のように、すべてのインパクトプリンタはハンマーの役目をする部分をリボンにぶつけて、リボンから用紙上にインクを押し出すという仕組みを持っている。つまり、力によって用紙に印を表わしているのである。実際、インパクトプリンタとタイプライタに何らかの違いがあるとすれば、それはタイプする人の指が用紙上の印字に直接連動しているかどうかという点である。つまり、タイプライタの場合には、印刷を行う機構に指から直接力を加えて動かす一方、プリンタの場合は、プリントアウトしようという意志と印字された文字の間にパーソナルコンピュータが介在するのである。

パーソナルコンピュータの初期、すなわち、PCが成功を収めることによって個人用プリンタの市場が形成されるということを、タイプライターメーカーがまだはっきりとつかんでいなかった時期に、数多くの会社が、コンピュータの出力装置としてタイプライタの改造と取り組んでいた。「Bytewriter」はその成果の代表的なもので、タイプライタのキーボードをフル装備したコンピュータプリンタである。しかし、スピードはたどたどしいもので、人の指の運動速度に比べれば2倍の仕事が可能だったが、残念ながらコンピュータの出力と比較するとまったく相手にならなかった。

市場では短命に終わってしまったが、キーボー

ド上に箱型の装置を取り付けるだけで、タイプライタをプリンタに変えられるという触れ込みの商品まで出てきたことがあった。その装置には何十個ものソレノイドや、そのほかの機械部品がぎっしりと埋めこまれており、これに比べればスペースシャトルでさえも単純に見えるほどであった。ソレノイドは電気で制御される"指"の働きをするもので、ホストコンピュータからの命令によってキーを押し下げる。確かに面白そうな仕組みではあるが、これは一歩間違えばただの物笑いの種になってしまうような装置だった。1981年にはかなり宣伝されていたが、このような装置が実際に売れたかどうかについては、少なからず疑問がある。

現在最も一般的な低価格プリンタといえば、インパクトドットマトリックスプリンタである。通常は略してドットマトリックスプリンタといわれている。文字の作成方法については旧式のタイプライタとは異なるが、ドットマトリックスプリンタも、ハンマーとリボンを使ってインパクトプリントを行うという、タイプライタと同じ原理に基づいたものである。

■ インパクトプリントの長所

タイプライタと同様に、インパクトプリンタには長所が数多く備わっている。125年間に及ぶ技術革新の恩恵を受けて、インパクトプリンタには完成された技術が用いられており、設計および機能は比較的シンプルで、理解しやすく、馴染みやすいものである。

ほとんどのインパクトプリンタは、インクと相性のよいものであれば、家のあちらこちらで使われているような様々な種類の紙はもちろんのこと、玉葱の皮から薄いカードストックに至るまで、どのような媒体にでもプリントアウトが可能である。インパクト、ノンインパクトのいずれの技術でも、高品質かつ高速な出力が実現されているが、最もビジネスニーズのある作業の1つである、複写書類の作成をやらせると、インパクト技術の方がリードしている。インパクトプリンタの場合、リボンと紙の間に何枚もの紙を挟んでプリントを行うことができるため、紙の間にカーボンを挟んだり、ノンカーボン複写用紙を使えば、プリンタを一回

作動させるだけで、まったく同一のコピーを一度に複数枚作ることができる。たとえば、納品伝票などの用途では、正確なカーボンコピーは必需品であり、その場合にインパクトプリントは必要欠くべからざるものである。

インパクトプリントの欠点

インパクトプリンタには、タイプライタから生まれたことを示す特徴が、ほかの面にも表れている。1つは、ハンマーがリボンと用紙にぶつかったときに騒音を発することである。この騒音は、振幅が大きく、高周波の断続的な鋭い衝撃音で、歯医者にある装置の音、あるいは、腹をすかせて怒り狂っている大きな蚊の群れが立てるような音といったらよいだろうか。いずれにしても、たいへん気に障る音である。一般的に、インパクトプリンタが立てる騒音は、普通の会話で使用される音よりも大きく、口論を聞いているよりも不快である。動作スピードが増せば増すほど、騒音の大きさも高さも増していく。

プリンタメーカーの中には、この騒々しい筆記者たちを静める、つまり騒音を抑えるという素晴らしい成果をあげたところもある。毎秒780文字の印字速度のプリンタの中には、55dB、すなわち、パーソナルコンピュータの静かなファンとほぼ同レベルにまで音量を下げた機種も出てきている。しかし、それでも低価格のインパクトプリンタ(プリンタの中で最も売れている)がぎしぎしと音を立てて仕事をしていると、その部屋から飛び出したい気になるものである。

ノンインパクトの設計

インパクト技術の正反対にあるのがノンインパクトプリントである。新技術を応用したり、すでに存在する技術を想像力を大いに働かせて利用しながら、タイプライタのようなハンマーによるインパクトを使用せずに、用紙上にイメージをプリントアウトする方法がこれまでに数多く開発されてきた。ノンインパクト技術の代表的なものとしては、インクジェット、熱転写、レーザー、ワックス転写、ダイディフュージョンがある。

16.2 イメージの作成法

インパクト、ノンインパクトという用語は、用紙上に何らかのマークを表わすための魔法の種類を表した言葉である。しかし、用紙にマークをつける方法は、マークがどういうものであり、どのような形をしているかということとは無関係である。たしかにイメージの質は様々な印刷技術の影響を受けるが、印刷技術以外にもイメージの質に関して大きく影響する重要な要素がある。そのひとつがプリンタに用いられる文字の作成法である。

活字型キャラクタプリンタ

プリンタの元となったタイプライタや、1970年代に製造された類似の機械はすべて、文字の作成についてはグーテンベルクの最初の印刷機と同じ原理に基づいていた。印刷に用いた文字は、それぞれ裏返しの形になってはいるが、最初からその文字の完全な形を持っていた。つまり、印刷される前に、各文字はそれぞれの完全な形を成しており、最も肉太の字体から最も細いセリフまで、各文字の全部分がタイプライタのハンマーの1回の打ち付けによって印刷されたのである。ハンマー(あるいは印刷機の活字)は、作り出そうとしている文字の鋳型に似た役割を果たしているわけだ。

パーソナルコンピュータが使われ始めた初期には、数多くのプリンタがこのタイプライタの技術を使用しており、活字型キャラクタプリンタ(Fully formed character printer)という用語のもとに、一括して分類されていた。この技術をベースにしたプリンタには、レタークオリティプリンタ、ディジーホイールプリンタ、シンブルプリンタと呼ばれるものがある。

活字型キャラクタプリンタは、ほとんどすべてが、インパクト原理を用いて用紙にインクを付着させている。しかし、1文字ごとにハンマーがあるのではなく、1つの機械部品に全文字をまとめて配置し、その部品を1本のハンマーとリボンの間に置いて印字を行うという仕組みだった。プリンタとコンピュータの電子回路によって制御される

ソレノイドが動かすハンマーが、文字が配置された部品 (印字部) にインパクトを与えると、印字部によってリボンから用紙上へとインクが打ち出される。1個のハンマーの打ち付けで英数字を印刷するために、印字部の方が方向を変えたり、回転したりして、必要な文字をハンマーの正面に持ってくるようになっている。

ほとんどの場合、文字は回転盤のスポークの先端近くに配置されている。その形が花(ひなぎく=デイジー)に似ていることから、この装置はデイジーホイールという名前が付けられている。また、デイジーを水平に置き、その花びらを上に曲げた形のものが、シンブル(チューリップホイールとも呼ばれる)である。

活字型キャラクタ技術を使えば、高級なタイプライタと変わらない高品質の出力が可能である。 実際、その印字品質に限界をもたらしている主な要因は、印刷技術ではなく、使用するリボンである。これについては、マイラー(ポリエステル)フィルムリボンを使うと、フォトタイプセッタにほぼ匹敵するほどの品質が得られるデイジーホイールプリンタも出てきている。

デイジーホイールプリンタは今でも使えるが、 パーソナルコンピュータから見ると時代遅れとなっ ている。設計の点からして、テキスト印字と粗末 なグラフィックスのみに限定されているうえ、活 字型キャラクタプリンタの場合は、字体の種類も 限られてしまうからである。印字できるのは、イ メージを作成するデイジーホイールもしくはシン ブルにある字体(およびフォントサイズ)のみであ る。また、これらの機種はスピードが遅く、安い プリンタでは1秒に12~20文字という印字速度 で、最も値段のはる機種でも1秒に90文字という レベルにどうにか達している程度である。ほかの 技術 (特にレーザープリンタ) は、今や活字型キャ ラクタプリンタと同等ないしはそれを上回る品質 を達成し、しかもスピードは圧倒的に速く、価格 面でもハンデはほとんどなくなっている。

ビットイメージプリンタ

各文字を印字前に完全な形で用意しておく代わ りに、印字の都度新しく文字を形成するという方 法もある。この場合、ビデオ画面に文字を表示す るのと同様に、用紙上の印字文字の構成要素とな るのは"ドット"である。一定の数のドットがあれ ば、これを配列して印刷したい文字に似たパター ンを形成することができる。一般に、ドットから 文字を作成するプリンタでは、文字の作成作業が 簡単になるように、クロスワードパズルの碁盤目 に似た直線のマトリックス状にドットを配列して いる。このような方法を用いたプリンタは、マト リックス内にあるドットから文字を作成するとい うことから、ドットマトリックスプリンタと呼ば れている。しかし、大抵の人は、ドットマトリッ クスという用語を「インパクトドットマトリック スプリンタ」の意味に限定して使っているので、こ のような方式のプリンタは、ビットイメージプリ ンタと呼んだほうが明確に区別できるだろう。

ビットイメージ技術

今人気のノンインパクトプリンタは、すべてビットイメージ技術を使っており、インパクトプリンタでも現在生き残っている機種は、ほとんどこの技術を採用している。この技術が用いられる理由は、その柔軟性にある。ビットイメージプリンタは、テキスト、グラフィックスともに、事実上どのような品質レベルにでも作成することができる。個々の文字を構成するドットパターンはコンピュータ制御されているため、コンピュータ(またはプリンタ内蔵の同等の制御回路)により、イメージの変更、修正が可能で、その際、プリンタ側に何ら機械的な変更を行う必要がない。

デイジーホイールを使った活字型キャラクタプリンタは、印字部 (デイジーホイール)を取り替えるだけで、字体をローマン体からイタリック体へ、活字サイズをパイカからエリートへと変えることができる。しかし、ドットマトリックスプリンタは、さらにこの切り換えが簡単で、字体の種類ももっと豊富である。コンピュータからコマンドをプリンタに送るだけで、途中で字体を変えたり、各文字の高さを倍にしたり、幅を半分に縮めたり、

適切なスペース配分をしたスクリプトに切り換えたりすることも可能である。また、その同じドットから、チャート、グラフ、図、ハーフトーンの写真のシミュレーションまで作成することもできる。ビットイメージ技術を使えば、1台のプリンタで、事実上どんなイメージでも用紙にプリントアウトできるのである。

ビットイメージプリンタの出力の品質とスピードは、採用されている技術によって大きく異なる。一番下のクラスでは印字品質はさほど良くないが、最上位クラスのものになると、たとえば高級なレーザープリンタなどは、書籍と変わらない品質の出力が可能である。また、速度は1分1ページ以下のものから、1分に何十ページものプリントアウトが可能なものまで様々である。以下の節では、ビットイメージプリンタ技術の中で最も重要なものを取り上げ、それぞれがどのように動作しているかを説明する。

■ インパクトドットマトリックスプリンタ

ビットイメージプリンタの中で原型となるプリンタは、インパクトドットマトリックスプリンタである。このプリンタは、用紙上を左右に往復するプリントへッドを使用しており、そのプリントへッドにあるたくさんの細いプリントワイヤが、リボンから用紙にインクを打ち出すハンマーの役割を果たしている。

ほとんどのドットマトリックスプリンタは、一見複雑そうだが、実際には効率のよい機構によって、プリントワイヤの1本1本が制御されている。通常は強力な永久磁石の磁力を使って、リボンと用紙の方向に引っ張るスプリングの力に反して、プリントワイヤを一定の位置に固定している。磁石には、電磁石の働きをするワイヤコイルが磁石と逆の極性になるように巻かれており、この電磁石に(もちろん、コンピュータ制御により)電気を流すと、その磁場が永久磁石の磁場を中和する。すると、プリントワイヤを後ろへ引っ張っていた永久磁石の力がなくなり、スプリングの力によってプリントワイヤがリボンに向かって飛び出し、リボンのインクを用紙上へ打ち出すという仕組みである。プリントワイヤによってドットが打ち出

されたあとは、電磁石の電気が切れ、永久磁石が プリントワイヤをアイドルポジションへと引き戻 し、再び発射可能な状態になる。

このように、磁石 2 個とスプリングを組み合せた方法を採用するのには、1 つの大きな意味がある。プリンタおよびプリントヘッドに電気が供給されていないときは、用紙からプリントワイヤを(安全な位置に)離しておくことができるということである。複雑な仕組みにはそれなりの理由があり、この場合は、デリケートなプリントワイヤを保護することである。

ドットマトリックスプリンタのプリントへッドは、このように何本ものプリントワイヤで構成されている。第一世代のパーソナルコンピュータ用のプリンタではほとんど、また、現在の機種でもその一部は、縦1列に並んだ9本のワイヤを使用している。さらに、新しいドットインパクトプリンタでは、高品質な印字を作り出すために、使用するワイヤの数を多くしたものが増えている。そのようなプリンタの中で代表的なものは、18本または24本のワイヤを使用している。多くの場合、それらのワイヤは、並行に2列に配置したものを少しずらして、1本1本のワイヤが互い違いになるように配置されている。またそれとは別の配列方法を採用している機種もある。

文字を1行印刷するときは、用紙上でプリントへッドを水平に移動させながら、各ワイヤを必要に応じて打ち出して個々の文字を作成していく。このために、各ワイヤがマトリックス内の正確な位置に打ち出されるように、そのインパクトは正確に時間制御されている。プリントへッドが用紙の端から端まで移動する間、ワイヤは忙しく打ち出され、プリントへッドは一時も休むことはない。

ドットマトリックスプリンタの印字速度を決定する大きな要素は、1本のワイヤを連続して打ち出すのに要する時間である。運動には物理的な法則があり、各ワイヤをいったん用紙にぶつけて再び元に戻すという動作では、加速できる度合に限界がある。このため、1本1本のプリントワイヤを元に戻し、また動かすという動作に必要な時間が、プリントへッドが横に移動する速度に物理的な制限を与えているのである。プリントへッドは、

プリントワイヤが再び打ち出し可能な状態にならないうちに、次のドットを打ち出す位置を飛び越えて先へ進むことはできない。プリントへッドの移動が早すぎると、ドットの位置決めも、文字の形もでたらめなものになってしまうのである。

インパクトドットマトリックスプリンタの中には、動作スピードを上げるために、左から右へ向かって1行を印字すると、次の行は逆に右から左へと印字する、双方向印字方式を採用しているものがある。この方式を使えば、通常、次の行の印字を開始するために、キャリッジをいちいち左端に戻さなければならない無駄な時間を節約することができる。ただしこの場合は、テキストを逆に印字していくために、1行分を完全に記憶できるだけのメモリがプリンタに装備されていなければならない。

■インクジェットプリンタ

インクジェットという用語から、米国海軍潜水 艦第1号ノーティラス号とか、巨大なイカ、ある いはふわふわ浮いた飛行機雲の代わりに青い気体 を吹き出している B-52 といったイメージが思い 浮かんでくれば、あなたの精神状態はまったく正 常である。インクジェットプリンタは、燃料の入っ た小型ジェットエンジンのようにインクを噴射す る "電子イカ"である。インクの小滴を用紙に吹き つけるプリンタというと、本当にそんな技術があ るのだろうかと思われるかもしれないが、これは りっぱに動作し、ほかの出力技術と比べてもまった くひけをとらない鮮明度のイメージを印刷できる。 本質的には、インクジェットプリンタはハンマー インパクトを取り去ったドットマトリックスプリ ンタといえる。ハンマーがインクを用紙上に打ち 付ける代わりに、インクジェットでは、インパク トドットマトリックスプリンタのプリントワイヤ に相当する小さなノズルが、適切な位置にインク を吹き付けるのである。動力は電磁石の場合もあ るが、現在では、これよりも多く使用されている と思われるのがピエゾ圧電素子(両端に電流を流 すと曲がる薄い結晶)である。細かい電子のデジタ ルパルスによってこの素子がピクッと曲がり、ノ ズルからインクを用紙に吹き飛ばすのである。

印刷イメージを汚すリボンがないということが、インクジェット成功の秘密の1つである。印字品質については、これよりも価格の高いレーザープリンタと同等である。また、インクジェットプリンタではレーザーを使わないため、製品原価が安く、したがって値段も安い。低価格のインクジェットは、ローエンドのドットマトリックスプリンタに匹敵するほどである。

しかし、きわめて高速な光学の原理に基づくレーザープリンタとは異なり、インクジェットの場合はプリントへッドが機械的に用紙を走査するため、レーザープリンタと比べると、高品質でプリントアウトを行うにはどうしてもスピードが遅くなる。また、インクジェットプリンタは液体のインクを使用しているため、定期的な保守が必要である。正しく手入れがされていないと、ノズル内でインクが乾き、ノズルが詰まってしまう。

こうした問題を防ぐために、ほとんどのインクジェットプリンタには、使用するたびに自動的にノズルを掃除する機能が付いている。現在では、使用していないときにインクが空気に触れないように、自動的にノズルに栓がされる機構が使用されている。インクを吹き出す機構とインクを供給する機構とを1つのモジュールに合体して、簡単に取り替えられるようにしているメーカーもある。いずれにしても、きちんとインクジェットを掃除をせずに取り付けたままにしておくと、数ヶ月経った後でもう一度使おうとしても、正しく動作しないだろう。

インクジェットはノンインパクトプリンタであり、普通のドットマトリックスプリンタより格段に静かである。聞こえる音といえば、キャリッジが左右に走っている音が多分唯一のものだろう。しかし一方で、最高の印字品質を出すために、インクジェットには決まった吸収性を持つ特殊な用紙が必要である。これは、ページ当たりの印刷代が高くなるということである。安い用紙で済まそうとすると、その手の用紙は多孔質なため、インクがにじんで汚れてしまう。逆に紙がつやつやしていると、よく乾いていないインクが流れて、やはり汚れてしまう場合がある。

しかし、インクジェットプリンタの液体インク

は、カラー印刷の場合は有効な長所となる。用紙上に吹きつけられた後でもしばらくインクは液体状態で残っているため、色を混ぜることができるからである。これによって、カラーのインクジェットプリンタでは、原色を混ぜ合わせた中間的な色合いを作り出すことが可能となっている。インクジェットプリンタは現在のところ、インクの流れを精密に制御して、本物の色彩パレットを創り出せるだけの能力はないが、熱転写プリンタを使ってまで出力しようとは思わなくなるだけの高品質な印字結果は十分得られる。高品質のカラーということでは、インクジェットほどコスト効果の高いものはない。

新しく開発されたインクジェット技術に固体イ ンクジェットプリンタまたはフェーズチェンジプ リンタ(昇華型プリンタ)と呼ばれるものがある。 昔のインクジェットプリンタでは、溶剤で揮発性 にしたインクを用紙に吹きつけ、そのインクを蒸 発作用または吸収作用により凝固させていたが、 フェーズチェンジプリンタでは、適当な色を付け たワックスを溶かし、用紙に吹き飛ばして、用紙 上でワックスを固めている。フェーズチェンジプ リンタも、インクの小滴を吹きつけている点はほ かのインクジェットと同様である。熱い小滴を用紙 にぶつけると、すぐに冷却し、相(フェーズ)が液 体から固体に変化する(この技術の名称はここに由 来している)。最初のフェーズチェンジプリンタで ある Howtek「Pixelmaster」の技術はここまで止 まりで、プラスチックベースのインクは小さなか たまりとなって用紙に残ってしまったり、プリント ヘッドを詰まらせたりしていた。Textronix はこ の原型にコールドフューザを付け加えることで改 良を施した。コールドフューザはスチールのロー ラーで、プリンタから印字された用紙を送り出す 過程で、インクの小滴を平たく、あるいはそれに 近い状態に押しつぶすものである。また、フュー ザをうまく働かせるために、同社はプラスチック 化合物から作っていたインクを、クレヨンに似た 脂肪質のワックスをベースにしたものへ変えた。 フェーズチェンジプリンタ用のインクは用紙の中 へ吸収されないので、従来のインクジェットインク よりも彩度がよく、その上、プリントヘッドの詰

まりは、熱を加えるだけで取り除くことができる。

■ サーマルプリンタ

焼き印セットと同じ原理で動作するようなプリ ンタは、働きづめのビジネスマンよりもむしろボー イスカウトにぴったりではないかと思われるが、 持ち運びの簡単な現在のプリンタでは、まさに焼 き印と同様のこと、つまり、用紙にイメージを"焼 き付ける"ということが行われている。サーマル プリンタ(感熱式プリンタ)は、焼き印と同じ電気 的加熱の方法、つまり、電流が流れると熱くなる 抵抗を利用している。ただし、サーマルプリンタ の場合は、加熱される抵抗の部分がごく小さく、 また1秒の何分の1という短い時間で急速に加熱 し、冷却する。インクジェットプリンタと同様に、 サーマルプリンタのプリントヘッドも、ドットマ トリックスプリンタのプリントヘッドのサーマル 版といったもので、用紙にワイヤをぶつける代わ りに用紙を加熱するだけのことである。

ただし、サーマルプリンタは、印刷する用紙を 実際に焼き焦がすわけではない。用紙を燃焼直前 の高温にまで加熱すれば危険である(これはプリン タにライターの役目までさせることになる)。サー マルプリンタでは、焼けるような高温で用紙を加 熱する代わりに、さほど高くない温度で白から暗 色に変色する特殊な感熱紙を使う。

サーマル技術は可動部品をほとんど必要としないので、ポータブルプリンタには理想的である。動くのはプリントヘッドだけで、内部にはまったくない。動かなくなったり引っ掛かったりするスプリングやワイヤがまったくないのである。その上、小さな抵抗は加熱するのにほとんど電力が要らず、必要な電力は、インパクトプリンタの1本のワイヤを打ち出すのに必要な量より少ない。サーマルプリンタは軽く、静かで、しかも信頼性が高く、電池で駆動させることも可能で、ポータブルプリンタとしては理想的なものである。

これに対して、欠点の1つは、特殊な用紙が必要なことである。印刷に要する費用が高くなるだけでなく、用紙の感触も悪く、不注意に高温にさらすと変色してしまう危険もある。感熱用紙には熱いプリントへッドと日なたの居心地のよい場所

との区別がつかないのである。

サーマルプリンタは徐々に特定用途に限定して使用されるようになっている。というのは、サーマルプリンタと同等の長所を持つインクジェットプリンタの方が、用紙が手ごろな価格ということもあって、低価格のものがサーマルプリンタの領域に侵入してきているからである。

■レーザープリンタ

世界中のオフィスと森林を様変わりさせた1つの革命といえば、複写機の誕生である。複写機の 普及によって、2通、3通の、いや100万通にも及 ぶコピーを作成する原料として樹木が何百万とい う単位で減少している。今日のノンインパクトビッ トイメージレーザープリンタはこの技術から生ま れた。

基本原理は簡単である。ある種の物質は光に奇妙な反応を示すが、セレンやある種の複合有機化合物はそうした物質の電気伝導率を変化させる。複写機とレーザープリンタにはこの原理が利用されている。つまり、静電荷を与えた感光ドラムに光でイメージを結ぶ。電荷は光が当たった感光ドラムの導電区域から徐々に流れ出し、光が当たらない暗い区域では残存する。その後で、トナーと呼ばれる顔料をドラム全面に塗ると、顔料は帯電した区域に付着する。そして、ローラーがドラムに用紙を差し込むと、付着していた顔料が用紙に転写される。最後に顔料に加熱、つまり"熱で溶かす"という処理を加えて、顔料を用紙に定着させる。

レーザープリンタの巧みな点は、ドラムを走査するために、あたかも魔法の力によるかの如くレーザー光線を作り出している点である(魔法というのは、大抵のプリンタでは走査をするのに回転鏡を使用しているからである)。ドラムが1回転するごとに自動的に次の行へと進み、走査が行われる。レーザー光線は変調され、明るい箇所では点灯、暗い箇所では消灯を素早く繰り返して、この動作1回で1個の小さなドットを作り、ビットイメージを形成する。これに似た光学式プリンタでは、LCDシャッタ技術を使用しているが、これは、光線を変調するのに、1つの電子シャッタ(または電

子シャッタのセット)を、つねに光を発している光源 (レーザーである必要はない)とドラムとの間に置いたものである。LED プリンタは発光ダイオード (LED)を調節して光源としている。これらの様々な技術はとても新奇なものに聞こえるが、プリンタを購入する際にはイメージ処理の仕組みはあまり問題にならない。それは、現在では、レーザープリンタ、レーザーもどきのプリンタいずれの技術でも、300dpi 以上の解像度が実現されており、印刷品質の違いはルーペがなければ見分けられない程のものだからである。レーザープリンタやこれに類する LCD シャッタプリンタの性能を左右するのは、紙処理とデータ処理である。

カラー印字に関する限り、現在入手可能な価格のレーザープリンタはまだ発達初期のもので、黒であればどのような色合いでも出せるという程度のものしか選択肢はない。プリンタ自身が単色印字用に設計されているため、様々な色のトナーを使用すれば、白黒以外の色も、単色ならば印刷することは可能である(ただし入手できる色はきわめて限られている)。

■ サーマルワックス転写プリンタ

色の種類が豊富で、純粋な上にむらがなく、しかも鮮明なカラー印刷技術として現在最も進んでいるのは、サーマルワックス転写と呼ばれるものである。現在のサーマルワックスプリンタの解像度は、レーザープリンタの現行の標準である300dpiと同水準で、その色彩は、カラー映画『バッグスバニー』のベスト集にも匹敵する。

このプリンタでは、ワックスを基剤とした媒質が付着している幅の広いプラスチックフィルム(インク転写シート)を使用する。媒質は4原色分ある。熱転写プリントへッドにより、ヘッドと同じ密度でこのシートからインクが用紙一面に転写される。1インチ当たり300個の熱転写エレメントがフィルムを加熱することにより、インクを溶かし、再び凝固させてインクを用紙にしっかりと定着させるわけである。転写シートを変えれば、同じプリンタでモノクロ印刷もカラー印刷もできる。

ほかの技術と比べると、サーマルワックスプリンタは速度が遅く、無駄も多い。このプリンタの

速度が遅いのは、1行印刷が終わっても、次の行へ300分の1インチ進む前に、熱転写プリントへッドを冷却させるための時間をどうしても必要とするためである。無駄が多いのは、1枚の用紙大の転写シートを、1ページに必要な原色分使用するからである。つまり、1ページにつき必ず4枚近くの転写シートを使用することになるのだ。このため、フルカラーのページを印刷すれば高価にならざるをえず、一般に1ページの単価はセント単位ではなくドル単位の金額になってしまう。

サーマルワックスプリンタは大量消費市場の商品ではなく、各メーカーは機構部分と補充品の両方に独自の設計を採用しているため、ほとんどの場合、インクシートの入手先はただ1つ、プリンタの製造元だけに限られてしまう。これは品質の点ではプラスだが(プリンタメーカーはそれぞれ自社のインクのカラーとその鮮明度を競い合うため)、競合品が直接対決する市場に比べて、価格が安くならないというマイナス面もある。

サーマルワックスプリンタでカラー印刷をする場合、3色と4色の2種類の転写シートのいずれかを選べる機種がある。3色転写シートには1枚のシートに3原色、すなわち、赤、黄、青のインクが付いており、4色シートはこれに黒が加わる。黒は3原色を重ね塗りしても作れるが、独立した黒インクを使用すればより豊かで深みのある色合いが出せる。その代わり、費用が高くつき、印刷時間も3色印刷時の3分の1だけ長くなる。

サーマルワックスプリンタでは、3 原色で7種類~約1,700 万種類の色が作り出せると言われている。この手品の秘密は、透明なインクと「ディザ法」と創意工夫である。サーマルワックスプリンタの使用するインクは透過性があるので、実際にインクを混ぜ合わせなくても、それらを重ね塗りすることで簡単に等和色(2 原色を同等に混ぜた色)を作り出せる。

サーマルワックスで表現できる色の種類(パレット)をさらに増やすには、点描画法的な混合、つまり、異なる色のドットを隣合わせに置いて、見た目にはそれらがぼやけて混じり合った色に見せる技法が必要である。1つのインクのドットが1つの画素を構成する代わりに、複数のインクドット

のかたまりが、中間色の超画素 (スーパピクセル) を効果的に形成しているのである。

このパレットの豊富さの代償は、解像度が損なわれることである。たとえば、5×5ドットの大きさのスーパピクセルは、熱転写式ドットプリンタの解像度を1インチあたり60ドットにまで減少させてしまう。イメージの質は本物の写真というよりはカラーのハーフトーン、つまり、雑誌に載っている複製写真のようなものになってしまう。このように品質は完全とはいえないが、それでもフィルムレコーダに記録しようとする画像や、出力サービスで色分解出力しようとしている画像の試し刷りには十分な品質であることは確かだ。

■ ダイディフュージョンプリンタ

写真レベルのプリンタ出力として、現在最も素晴らしい品質を実現できるのが、熱転写式染料拡散 (ダイディフュージョン) 処理技術である。サーマルワックスの処理方法に似たメカニズムを用いて、インクではなく染料を染み込ませるのがダイディフュージョンプリンタである。これは、サーマルワックスプリンタの場合のようにドットのあるなしではなく、拡散によって各ドットの色の濃さを変化させる。染料の拡散は、プリントヘッドによって慎重にコントロールすることができる。3原色はそれぞれ莫大な階調を持つことができる(ほとんどのメーカーによれば256 階調)という点で、ダイディフュージョンプリンタのパレットは基本的には無限である。

いくつかのプリンタでは印字サイズに限界があるが、ほとんどのダイディフュージョンプリンタの場合は、出力されたものは、サイズも色彩も写真と変わらない。しかし、このプリンタの限界はコストにある。次々と新奇な技術が開発されてこのプリンタへ導入された結果、価格は成層圏まで押し上げられ、今や1万ドルの壁を打ち破らんばかりになっている。

ビットイメージの品質

ビットイメージプリンタの印字品質は、主に3つの要素により決定される。すなわち、マトリックス内のドット数、プリンタのアドレス可能度、

それにドットのサイズである。マトリックスの密度が高ければ高いほど(一定の領域にドットが多くあればあるほど)、文字はそれだけきれいに見える。アドレス可能度が高ければ、それだけ高い精度でプリンタはドットを用紙に印刷できる。そして、ドットが小さくなれば、それだけ微小な細部を表現するのが可能となるのである。

品質に重点を置くと、双方向プリンタでも、単方向印字と変わらない速度にまで減速してしまう場合が多くある。双方向プリンタは、ドット密度を上げるために、往復移動の際に紙をドット幅の半分だけ縦方向に送り、各ラインを2回以上繰り返して印字して、ドット間のスペースを埋めているからだ。単方向印字の方が、1回の移動で高い精度で各ドットを配置できる。

7×5ドットのマトリックスは、識別できる程度 の形のアルファベットの大文字、小文字をどうに か表現できるといったレベルである。このドット 数では、ドットのサイズも大きく、ドット同士に 隙間が見えてしまう。さらに悪いことには、マト リックスが小さすぎて、下にさがる形の文字(g、 i、q、v) を活字のベースラインよりも下にさげる ことができないため、押しつぶされたような形で しか表わすことができない。市販されているほと んどのドットマトリックスプリンタが使用してい る最小のマトリックスは 9×9 ドットで、これで作 られた文字は読む場合には問題ないが、いささか 野暮ったい感じがする。これよりも新しい 18ピン や、24ピンのインパクトドットマトリックスプリ ンタでは、12×24から24×24ドットのマトリッ クスで文字を作ることができる。

ほかのビットイメージ技術はさらに先を進んでいる。レーザープリンタは小さなドットで1インチあたり300個という高密度を実現している。1つの文字が30×50のマトリックスで構成されていることもある。新世代のインクジェットプリンタやインパクトドットマトリックスプリンタもこの品質レベルに近づいている。

コンピュータのディスプレイと同様に、ドットマトリックスプリンタの解像度とアドレス可能度とはよく混同される。一般に解像度といった場合は、アドレス可能度を意味している。1/120 イン

チといった精度でプリンタが用紙上のいかなる位置にでもアドレス指定することができれば、アドレス可能度を意味するものとして解像度は 120dpi であるといえる。しかし、その場合でも、プリントワイヤの直径が 1/120 インチより大きければ、1/120 インチレベルの細部を表現することは不可能なのである。

幅の広いプリントワイヤが作る大きなドットは 細部をぼかしてしまう。品質の良いインパクトドットマトリックスプリンタは、1本のプリントワイヤが小さく、ワイヤ数も多い。また、ワイヤと用紙との間に挿入されているリボンも、インパクトドットマトリックスプリンタの打ち出したドットをぼやけさせる一因になっている。ノンインパクトビットイメージプリンタの場合は、その解像度と同じサイズのドットを使用しており、通常は約1/300インチである。

レーザープリンタの解像度の問題

入手可能な価格のパーソナルコンピュータプリンタの中で、解像度が最も良いのはレーザープリンタである。現在では、300dpi がほとんどのレーザープリンタの標準となっているが、新しい機種になればなるほど、その限界はもっと高くなっている。しかし、このようにレーザープリンタから消えていく解像度の限界も、なおいくつかの要素により制約を受けなければならない。

ほとんどのレーザープリンタの場合、解像度のレベルは主としてプリンタ内の電子回路によって決まる。制御回路の中で最も重要な部分はラスタイメージプロセッサ(RIP)である。RIPの仕事は、文字列やそのほかの印刷コマンドを、プリンタから用紙上に表わされるビットイメージに変換することである。実際には、RIPはビデオボードのような働きをしており、ドローイングコマンド(プリントストリームの中の1文字は、その文字のプリントを指示するドローイングコマンドである)を翻訳して、そのページの各ドットの位置を計算し、固有の値をプリンタのメモリに入れる。プリンタのメモリはビデオ画面の走査線(ラスタ)とよく似たラスタ状に配置されており、1つのメモリセル(通常の白黒印刷のレーザープリンタの1ビット)

が用紙の1ドットの位置に対応している。

ほとんどのドットマトリックスプリンタは、ドット位置が指定されているグラフィックスを常時受け付けている。つまり、バイトデータがプリンタに送られ、1 データを受け取るか、1 行分のデータの受け取りを完了するとすぐに、プリンタは忠実にそのデータを用紙上へ打ち出す。

これに対し、レーザープリンタはそれ程迅速には動けない。1回に1ページ全体のデータをまるごと処理し(ここからページプリンタという名前がついた)、1枚分のグラフィックス全体を読みこなした上で、用紙上にドットをプリントする。レーザー機構は正確に一定のスピードで動作するように調整されており、イメージを正しく作成するためには、データを適切な速度で受け取らなければならない。さらに、多くのレーザープリンタは、用紙上のイメージ領域全体にまたがるような線や図形を描き出すために、高水準言語のグラフィックスコマンドを使っている。

こうした様々な理由から、1ページ全体のビット マップイメージを最高の解像度で一時的に記憶し ておくために、レーザープリンタは並外れて大き な容量のメモリを必要とする。このように、レー ザープリンタ内のメモリ容量によって、印刷可能 なグラフィックスの解像度は制限される。印刷し ようとしている解像度のレベルで1ページ全体を 記憶するには、十分なメモリがなければならない。 もし十分なメモリがなければ、1ページの一部分 しか描き出せないことになる。あるいは、1ペー ジ全体を印刷するために解像度をもっと下げなけ ればならない。8×10.5 インチのイメージ(8.5×11 インチの用紙の約1ページ分)を300dpiで印刷す るには945,000 バイト必要で、プリンタには1M バイトのメモリが必要ということになる。いくつ かのプリンタに搭載されている 512K バイトのメ モリ容量では、8.5×11インチの用紙全体を印刷 すると、わずか 150dpi の解像度にしかならない。 ラスタを記憶する以外の機能として、たとえば、 ダウンロードが可能なフォントを記憶させるため にプリンタのメモリを使いたい場合には、さらに 大きなメモリが必要となる。

レーザープリンタは英数字を表現する場合、ほと

んどキャラクタマップモードで動作しているため、メモリの使用量はそれほど大きくない。プリンタは1文字につき1バイトを使う ASCII コードや、ほかの同種のコードで1ページ全体のイメージを記憶でき、プリンタがそのページを走査していくのに応じて、ひとつひとつの文字のドットを生成していくのである。

RIP 自身の設計上の制約から、レーザープリンタの解像度は一定のものに限定されてしまうこともあり得る。しかし、多くのレーザープリンタでは、RIP はプリンタのビデオインプットを使用したアドインプロセッサと取り替えることができる。ビデオインプットは、信号をプリンタの電子回路のほとんどを迂回させ、(テレビの画像のように)ラスタ走査の形で信号にレーザー内の光源を直接制御させることからその名がついている。アドインプロセッサは、レーザーを変調し、振幅を増幅することにより高解像度を作り出すことができる。

Hewlett-Packard の「LaserJet III」シリーズ のプリンタには、同社がレゾリューションエンハ ンスメントと呼んでいる高画質化技術が導入され ている。この技術は、文字や斜線の縁の部分でドットサイズを変えることにより、マトリックスビットイメージの印刷につきものの階段状のギザギザを小さくするというものである。これにより、レゾリューションエンハンスメントを行えば、用紙上の実際の解像度は300dpiのままで、ドットサイズの最適化によりこれまで以上に鮮明な印刷結果が得られるのである。

現在、レーザープリンタの中には改良した RIP を搭載して、300dpi から 600dpi あるいはそれ以上の解像度を持った機種が出てきている。プリントワイヤのサイズがインパクトドットマトリックスの解像度を制限していたのとまったく同様に、レーザープリンタではトナー粒子の大きさによって印刷の鮮明度の限界が決まってくるため、解像度が高くなればトナーにも改良が要求される。レーザープリンタの解像度が高くなるに従い、トナーの重要性は増していくため、特にトナーカートリッジ交換の際には、必ず適切なトナーを使用するように注意しなければならない。トナーが悪いと、せっかくの高い解像度も台無しになってしまうのだ。

16.3 グラフィックス印刷技術

IBM のキャラクタセット互換ビットイメージプリンタの場合は、グラフィックス印刷に2つの方法がある。ブロックグラフィックスとオールポイントアドレッサブルグラフィックス(全ドットがアドレス可能なグラフィックス)である。両者の大きな違いは品質と互換性にある。ブロックグラフィックスは見た目には不格好だが、これを生成できるソフトウェアとこれを印刷できるプリンタなら、どのような組み合わせでも動作する。逆に、ビットイメージグラフィックスは印刷は鮮明だが、プリンタの制御方法を知っているソフトウェアしか使えない。

ブロックグラフィックス

ブロックグラフィックスはプリンタに組み込ま

れた特別なキャラクタセットと考えればよい。これによって、正方形、長方形、三角形、横線、縦線といった簡単な形状のブロックを組み合わせて、描画を行うことができる。これらのブロックの形状はそれぞれコード化されているため、プリンタではアルファベットキャラクタと同じ形式で認識されている。グラフ用紙の枡目を埋めて様々な形をつくるように、これらのブロックキャラクタを1行ずつ書き出すことで、あるイメージを描き出すのである。ブロックは大きく、ほとんどのプリンタのデフォルトテキストモードでは全長が1/8インチより少し小さい程度なので、絵は少々ずんぐりした感じに見える。

オールポイントアドレッサブル グラフィックス

ほとんどのビットイメージプリンタではその固 有のモードで、オールポイントアドレッサブルグ ラフィックス (APA グラフィックス) と呼ばれる技 術を使って、ひとつひとつのドットを用紙のどこ に置くかを決めている。この技術の場合、そのプ リンタ専用の命令の知識があれば、自分で(ソフ トウェアを使って) 詳細なグラフを描いたり、新聞 に印刷されているハーフトーンの写真のような絵 を描くことさえも可能である。プリンタに組み込 まれているソフトウェアが、印刷する(黒)、また は、印刷しない(白)と指定することにより、印刷 可能な位置であればどこへでも各ドットを置くこ とができる。イメージ全体を描き出す方法はテレ ビ画像と同様で、用紙を上から下へ数ドット幅(プ リントヘッドのワイヤ数と同じ幅)で1行ずつ走 査することで可能となっている。

このグラフィックス印刷技術には別名がある。印刷するドットひとつひとつに用紙上の特定の位置、すなわち "アドレス" を割り当てることができると

いうことから、ドットアドレッサブルグラフィックスと呼ばれることがよくある(単にドットグラフィックスと略されることもある)。さらに、各ドットが効率良く1ビットのデータのイメージとなっていることから、ビットイメージグラフィックスという名前で呼ばれることもある。

オールポイントアドレッサブルグラフィックスで問題なのは、プリンタに各ドットをどこに置くかプリンタに指示するコマンドを、ソフト側が知っていなければならないということである。このコマンドについてはプリンタ業界では数多くの標準が生まれた。独自の道を歩み、独自のコマンド体系を採用しているメーカーも一部あるが、大半は業界のリーダーの設定したコマンドに従っている。たとえば、9ピンと 24 ピンのインパクトドットマトリックスプリンタなら、ほとんどは Epson か IBM のプリンタと同じコマンドを使用しており、レーザープリンタの場合は、ほとんどが HewelettーPackardの「LaserJet」プリンタと同じコマンドを使用している。

16.4 プリンタの制御

用紙上の印刷結果を、モニタスクリーンに表示さているものに近づけるためには、コンピュータとソフトウェアは、印刷画像の作り方をプリンタに正確に指示しなければならない。ダムプリンタ(単機能プリンタ)の基本的な動作を制御する場合でも、インテリジェントプリンタから特殊な機能を引き出す場合でも、コンピュータはプリンタに一連の命令を送らなければならないという点は同じである。

文字列の流れが、プリンタとホストのコンピュータをつなぐ唯一のデータ経路であるため、コンピュータからの命令は、その文字コードの列の中に組み込まなければならない。このような組み込み式の命令には次のような形式のものがある。

制御コード

最も重要な命令の1つは、たとえば、バックスペースやタブ、文字にアンダーラインを引くといった、ごく一般的な命令である。実際、こうした命令は決まりきったものなので、ASCII キャラクタセットに組み込まれ、特定の数値が割り当てられている。たとえば、プリンタにバックスペースを実行させるには、バックスペースキャラクタである ASCII コード 08h という値をコンピュータからプリンタに送ってやるだけでよい。プリンタはこのコードを受け取るとすぐに、用紙に何かを印字する代わりにバックスペース動作を行なう。このような特定の ASCII コードのグループを制御コードと呼ぶ。

エスケープシーケンス

プリンタのコマンドに使用できる ASCII キャラクタの数はごくわずかだが、プリンタが実行できる機能の数は多い。データチャネルを介して届く追加命令を検出するために、ほとんどのプリンタではエスケープシーケンスと呼ばれる特殊な文字列が使用されている。

エスケープシーケンスは、ASCII コードの27が割り当てられた特別なコード記号で始まる一連の ASCII キャラクタのことである。この特殊なキャラクタは、プログラマからはエスケープ(拡張文字)と呼ばれたり、略して ESC と書かれるこ

とも多い。

ほとんどの命令では、エスケープキャラクタ(拡張文字)は単なる注意マークのようなもので、単独では何も行わない。次に続く ASCII キャラクタは印字するのではなく命令として解釈しなければならないという注意をプリンタに与えるものである。

ANSIエスケープシーケンス

米国規格協会 (ANSI) は、プリンタを制御する標準的なエスケープシーケンスセットを定義している。これらの ANSI エスケープシーケンスを一部抜き出したのが表 16-1 である。

表 16-1 ANSI 制御コード

ASCII 値	制御值	ニーモニック	機能
0	^ @	NUL	充塡文字として使用
1	^A	SOH	ヘッディング開始 (インジケータ)
2	^B	STX	テキスト開始(インジケータ)
3	^ C	ETX	テキスト終了 (インジケータ)
4	^ D	EOT	伝送終了; ディスコネクト
5	^E	ENQ	照会;アンサーバックメッセージ要求
6	^F	ACK	アクノリッジ
7	^G	BEL	ベルを鳴らす
8	ԴH	BS	バックスペース
9	^ I	HT	水平タブ
10	^ J	LF	改行
11	^K	VT	垂直タブ
12	^ L	FF	改ページ
13	$^{\sim}$ M	CR	復帰
14	^ N	SO	シフトアウト;キャラクタセットの変更
15	^ O	SI	シフトイン;キャラクタセットの変更
16	^P	DLE	伝送制御拡張文字
17	^ Q	DC1	データ制御 1 (XON)
18	^R	DC2	データ制御 2
19	^S	DC3	データ制御 3 (XOFF)
20	^ T	DC4	データ制御 4
21	^U	NAK	非アクノリッジ
22	^V	SYN	同期信号文字
23	^W	ETB	伝送ブロック終了 (インジケータ)
24	^X	CAN	キャンセル; ただちに制御コードもしくはエスケープシーケンスを終わらせる

ASCII値	制御値	ニーモニック	機能
25	^Y	EM	メディア終了 (インジケータ)
26	^Z	SUB	置き換え文字(ファイル終了マーク)
27	^ [ESC	エスケープ;エスケープシーケンス導入
28	^¥	FS	ファイル分離文字(インジケータ)
29	^]	GS	グループ分離文字(インジケータ)
30	^^	RS	レコード分離文字 (インジケータ)
31	^	US	ユニット分離文字(インジケータ)
32		SP	スペースキャラクタ
127		DEL	非動作
128		予約済み	パーサのリセットのみを行う (Esc)
129		予約済み	パーサのリセットのみを行う(Esc A)
130		予約済み	パーサのリセットのみを行う(Esc B)
131		予約済み	パーサのリセットのみを行う(Esc C)
132		IND	インデックス;アクティブラインの増分(紙を送る)
133		NEL	次行; 次の行の1文字目に進む
134		SSA	選択領域開始点(インジケータ)
135		ESA	選択領域終了点 (インジケータ)
136		HTS	水平タブの設定 (アクティブカラムで)
137		НТЈ	位置揃えをする水平タブ
138		VTS	垂直タブストップの設定(現在行に)
139		PLD	半改行(下)
140		PLU	半改行(上)
141		RI	インデックスの反転 (用紙を1行もとに戻す)
142		SS2	シングルシフト 2
143		SS3	シングルシフト3
144		DCS	装置制御文字列
145		PU1	プライベート使用1
146		PU2	プライベート使用 2
147		STS	端末属性の設定
148		CCH	取り消し文字
149			メッセージ書き込み
150			プロテクトエリア開始点 (インジケータ)
151			プロテクトエリア終了点 (インジケータ)
152		予約済み	
153		予約済み	The second secon
154			Esc Z と同機能
155			コントロールシーケンス開始
156			文字列終端
157		OSC	オペレーティングシステムコマンド (インジケータ)

ASCII 値 制御値	ニーモニック	機能
158	PM	プライベートメッセージ
159	APC	アプリケーションプログラムコマンド
7 ビット環境用 ANSI 標準	エスケープシーケンス	
エスケープシーケンス	機能	
Esc D	インデックス	
Esc E	縦行	
Esc H	水平タブの設定	
Esc Z	垂直タブの設定	
Esc K	半改行(下)	
Esc L	半改行(上)	
Esc M	インデックス反転	
Esc N	シングルシフト2	
Esc O	シングルシフト3	
Esc P	装置制御文字列	
Esc [コントロールシーク	アンス開始
Esc ¥	文字列終端	
Esc]	オペレーティングミ	ノステムコマンド
Esc ^	プライベートメット	セージ
Esc	アプリケーションフ	プログラムコマンド

この表は、Digital Equipment Corporationが実装しているキャラクタ

コマンドのデファクトスタンダード

パーソナルコンピュータ製品ではたいへんよく あることだが、標準のエスケープシーケンスとさ れているものは、実際には標準ではない。ANSI の表は主として、活字型キャラクタプリンタを使 用してテキストを処理することを意図したもので あるが、多くのプリンタは、ANSIの範囲を超え る先進のグラフィックスやほかの機能を持ってい るため、ほとんどのプリンタメーカーは、自社の プリンタの特別な要求に合わせて、標準の拡大、 修正、そして無視を行ってきたのである。

プリンタに実際に存在する標準はすべて、デファクトスタンダード (事実上の標準) であり、単に多くの人がそれに従ったという理由だけで、標準としての地位を得たものである。一般的には、一番売れている製品を製造している大手メーカーの使用するコードやコマンドに、それらの互換製品を製造している小規模メーカーが従うといった構図

になっている。

デイジーホイールコマンド

当初、活字型キャラクタプリンタの市場は2社に支配されていた。XeroxのDiablo部門と、PCが初めて登場した当時に複合企業ITTが所有していたQume社である(Qumeはその後何回か持ち主が変わっている)。これら2社によって製造されたプリンタの使用するコマンドは、レタークオリティプリンタの互換標準として登場した。レーザープリンタの中には、古い技術のプリンタの代わりに使用でき、しかも、古いワードプロセッサに連結して動かせることから、Diablo互換、Qume互換であることを誇るものすらある。

これら2社のコマンドセットはきわめてよく似ており、わずかな数の命令が違っているだけである。表16-2に2つのコマンドセットを簡単にまとめた。

表 16-2 Diablo と Qume の制御コードとエスケープシーケンス

ASCII値	制御値	ニーモニック	機能		
1	^ A	SOH	連続してユーザーテストを実行する		
2	^B	STX	1回ユーザーテストを実行する		
3	^ C	ETX	ユーザーテストを停止する		
7	^G	BEL	ベルの音を鳴らす		
8	^ H	BS	*バックスペース		
9	^I	HT	*水平タブ		
10	^J	LF	*改行		
11	^K	VT	*垂直タブ		
12	^L	FF	*改ページ		
13	^M	ČR	*復帰		
27		Esc	ノーマルモードへ戻る		
31		US	プログラムモードキャリッジ動作		
127		DEL	*非動作		
エスケープ	シーケンス				
エスケープ	シーケンス	機能			
Esc BS		*1/120 インチ/	バックスペース		
Esc LF		*逆改行			
Esc SO		一次モードへ移	行		
Esc SI		ノーマルモード・	へ戻る		
Esc RS n		縦のスペーシン	グ増分を n-1に設定する		
Esc US n		横スペースの増	分を $n-1$ に設定する		
Esc VT n		全体垂直タブを	n-1 行に設定		
Esc HT n		絶対水平タブを	n-1 行に設定		
Esc SP		特殊文字位置 00	04 のプリント		
Esc SUB I		プリンタの初期	化		
Esc SUB S	0	端末自己診断			
Esc CR P		プリンタの初期	(E) SINGLE SINGL		
Esc 0		*右マージンの記			
Esc 1		*水平タブストッ			
Esc 2		*全水平タブスト			
Esc 3		*1/60 インチの			
Esc 4		*グラフィックス			
Esc 5		*順方向プリント			
Esc 6		*逆方向プリント	HAND INTERNATIONAL THE REPORT		
Esc 8		*水平タブストッ			
Esc 9		*左マージンの記	设定		
Esc.		自動改行オン			
Esc,		自動改行オフ	自動改行オフ		

エスケープシーケンス	機能
Esc <	自動双方向プリントオン
Esc >	自動双方向プリントオフ
Esc +	上マージンの設定
Esc -	下マージンの設定
Esc @T	ユーザーテストモードに入る
Esc #	二次モードに入る
Esc \$	*WPS (プロポーショナルスペースの印字ホイール) オン
Esc %	*WPS (プロポーショナルスペースの印字ホイール) オフ
Esc (n	n桁め (nは複数指定可能) にタブを設定
Esc) n	n桁め (nは複数指定可能) のタブを解除
Esc /	特殊文字位置 002 をプリントする
Esc C n m	n列に対する絶対水平タブ
Esc D	* 逆半改行
Esc E n m	水平スペースの増分を設定
Esc F n m	フォームの長さを設定
Esc G	*1/120 インチのグラフィックス
Esc H n m l	相対水平動作
Esc I	アンダーラインオン
Esc J	アンダーラインオフ
Esc K n	ボールドオーバーライトオン
Esc L n m	垂直スペースの増分を規定
Esc M n	ボールドオーバーライトオフ
Esc N	次の文字の印字後に印字位置を変えない
Esc O	右マージン制御オン
Esc P n	n行目に絶対垂直タブを設定
Esc Q	シャドウプリントオン
Esc R	シャドウプリントオフ
Esc S	無印字オン
Esc T	無印字オフ
Esc U	*半改行
Esc W	自動復帰/改行オン
Esc V n m l	相対垂直用紙動作
Esc X	強制実行
Esc Y	右マージン制御オフ
Esc Z	自動復帰/改行オフ
Esc e	シートフィーダページイジェクト
Esc i	シートフィーダがトレイからページを挿入する
Esc x	強制実行

注:Queme「Sprint II」のコマンド;*は「Diablo 630」と共用するコマンド

EpsonとIBM の 9ワイヤ式プリンタの コマンド

ドットマトリックスプリンタのデファクトスタンダードに最も近いのが、IBM と Epson が使用しているコードおよびコマンドである。IBM の最初のグラフィックスプリンタが Epson の「MX-80」をベースにしたものであったため、両社のコマンドは密接な関連性を持っている。両者のおもな違い

はキャラクタセットにある。IBM は様々な種類の 特殊記号に 256 個の ASCII コードの上半分を使っ て、IBM 拡張文字セットを作っているが、Epson はそれらのコードをイタリック体に使用している。 両社のプリンタが使用するコマンドは、9 ワイヤ 式ドットマトリックスプリンタのデファクトスタ ンダードとなっている。それらのコマンドを簡単 にまとめたのが表 16-3 である。

表 16-3 Epson の制御コードとエスケープシーケンス

制御コード					
ASCII 値	制御値	ニーモニック	機能		
7	^G	BEL	ベル音を鳴らす		
8	^H	BS	バックスペース		
9	^I	HT	水平タブ		
10	^J	LF	改行		
11	^ K	VT	垂直タブ		
12	^L	FF	改ページ		
13	^M	CR	復帰		
14	^N	SO	² 倍角印字モードをオンにする		
15	^0	SI	2長体印字モードをオンにする		
17	^P	DC1	² プリンタ選択		
18	^R	DC2	長体印字モードをオフにする		
19	^S	DC3	プリンタ解除		
20	^ T	DC4	倍角印字モードをオフにする		
24	^X	CAN	行取り消し		
127		DEL	非動作		
エスケープ	シーケンス				
エスケープ	シーケンス	機能			
Esc SO		2倍角印字モードをオンにする			
Esc SI		2長体印字モードをオンにする			
Esc EM		2カットシートフ	ィーダ制御		
Esc SP		2文字間隔選択			
Esc!		2モード組み合わせ選択			
		² MSB モード取	MSB モード取り消し		
Esc \$ ² 絶対水		2絶対水平タブ設	水平タブ設定		
Esc % 2アクティブキャ		2アクティブキャ	・ラクタセット選択		
Esc: ² ROM & ユーザ・		² ROM をユーザ	ーRAM にコピーする		
Esc &		ユーザーキャラ	ーザーキャラクタを規定		
Esc /		垂直タブを設定	垂直タブを設定		

エスケープシーケンス	機能
Esc ¥	プリントヘッドを移動
Esc <	片方向 (左から右) 印字をオン
Esc >	² MSB + + y \ (MSB=0)
Esc =	² MSB リセット (MSB=1)
Esc @	2プリンタの初期化
$\operatorname{Esc} - n$	アンダーラインモード
	n=1 または 49、アンダーラインモードをオンにする
	n=0 または 48、アンダーラインモードをオフにする
Esc *n	² ビットイメージモード選択(nの後にデータが続く)
	n=0:通常密度
	n=1:倍密度
	n=2:倍速倍密度
	n=3:4倍密度
	n=4: CRT グラフィックス
	$n=6$: CRT $\not = 0$ Transfer of 0 Transfer o
Esc ^	9 ピングラフィックスモード
Esc 0	行間隔を 1/8 インチに設定
Esc 1	行間隔を 7/72 インチに設定
Esc 2	行間隔を 1/6 インチに設定
Esc 3 n	行間隔を n/216 インチに設定 (nは 0~255 の範囲)
Esc 4	² 代替文字 (イタリック体) セットをオンにする
Esc 5	² 代替文字(イタリック体)セットをオフにする
Esc 6	1キャラクタセット1選択
	2高位の制御コードを停止
Esc 7	1キャラクタセット 2 選択
	2高位の制御コードを復元
Esc 8	用紙切れ検出をオンにする
Esc 9	用紙切れ検出をオフにする
Esc A n	行間隔を n/72 インチに設定 (nは 0~85 の範囲)
Esc B	2垂直タブストップ設定
Esc C n	フォームの長さを n行に設定
Esc C 0 n	フォームの長さを nインチに設定 (nは 1~22)
Esc D	水平タブストップ設定
Esc E	強調モードをオンにする
Esc F	強調モードをオフにする
Esc G	重ね打ちモードをオンにする
Esc H	重ね打ちモードをオフにする
Esc I	² 制御コード選択
Esc J n	n/216 インチの仮行間隔

エスケープシーケンス	機能	100
Esc K	通常密度のビットイメージデータ開始	
Esc L	倍密度のビットイメージデータ開始	
Esc M	エリートサイズの文字がオン	
Esc N n	パーフォレーションをスキップする行数の設定	
	$n=1\sim127$ の範囲でスキップする行数	
Esc O	パーフォレーションのスキップをオフにする	
Esc P	² エリートモードオフ/パイカサイズ文字オン	
Esc Q n	2 右マージンを n 列に設定する	
	¹ デフォルトのタブに戻る	
Esc R n	2国際キャラクタセットの選択	
	n=0: USA	
	$n=1: 7 \ni \lambda \lambda$	
	n=2: ドイツ	
	$n=3: \neq \forall \forall \exists \forall \exists \exists$	
	n=4: デンマーク I	
	$n=5$: $\lambda \dot{\mathcal{O}}$	
	n=6: A9 y T	
	$n=7: \mathcal{R}^{\sim} \mathcal{A} \mathcal{A}$	
	n=8:日本	
	$n=9: /\nu \dot{\tau} = 1$	
	$n=10$: \overrightarrow{r} '> \overrightarrow{r} - \cancel{p} II	
Esc S n	スーパスクリプト(上付き文字)/サブスクリプト(下付き文字)オ	ンモード
	n=0 または 48、スーパスクリプトモードオン	
	n=1 または 49、サブスクリプトモードオン	
Esc T	スーパスクリプト/サブスクリプトオフ	
Esc U n	単方向/双方向プリント	
	n=0 または 48、双方向プリントをオンにする	
	n=1 または 49 、単方向プリントをオンにする	
Esc W n	倍角(横倍角)印字モード	
List W h	n=1または 49 、倍角印字モードオン	
	n=0 または 48、倍角印字モードオフ	
Esc X	1マージンの設定	
Esc Y	倍速、倍密度のビットイメージデータが続く	
Esc Z	4 倍密度	
Esc a	2位置揃え	
Esc b	2垂直タブの設定	
Esc e n	タブの単位の設定	
	n=0または48、水平タブの単位を設定する	
	n=1 または 49、垂直タブの単位を設定する	

エスケープシーケンス	機能
Esc f n	スキップ位置の設定
	n=0 または 48、水平スキップ位置を設定する
	n=1または 49 、垂直スキップ位置を設定する
Esc g	215 幅選択
Esc i	2即時プリント (タイプワイヤモード)
Esc j	2 即時一時的用紙逆送り
Esc k	2タイプスタイルの種類選択
Esc 1 n	n列に左マージンを設定
Esc m n	特殊文字ジェネレータ選択
	n=0、受領制御コード
	n=4、受領グラフィックスキャラクタ
Eac p n	プロポーショナルプリント
	n=0 または 48、プロポーショナルプリントをオフにする
	n=1 または 49、プロポーショナルプリントをオンにする
Esc s	ハーフスピードプリント
	n=0 または 48、ハーフスピードプリントをオフにする
	n=1 または 49、ハーフスピードプリントをオンにする
Esc z	レタークオリティプリントかドラフトプリントかを選択

注:¹=IBM 専用コマンド、²=Epson 専用コマンド

Epson の 24ワイヤ式プリンタの コマンド

ドットマトリックス技術が9ワイヤ式から24ワイヤ式へと発展すると、プリントモードが追加されることを考慮して、グラフィクスコマンドを拡

大する必要が出てきた。さらにまた、Epson の 24 ワイヤ式プリンタシリーズのコマンドは、パーソナルコンピュータ業界の標準に近づいていった。 表 16-4 は、24 ワイヤ式プリンタ用の Epson の 拡大コマンドセットである。

表 16-4 Epson の 24 ピングラフィックスコマンド

モード	ピン	コード	密度 (ドット/インチ:dpi)	
単密度	8	0	60	
倍密度	8	1	120	
高倍密度	8	2	120	
4倍密度	8	3	240	
CRT I	8	4	80	
CRT II	8	6	90	
単密度	24	32	60	
倍密度	24	33	120	
CRT III	24	38	90	
3 倍密度	24	39	180	
6 倍密度	24	40	360	

一般的なコマンドの形式は次の通りである。

Esc* m c1 c2 [graphics data]

ここで、mは表 16-4 のコード番号であり、c1 と c2はグラフィックスに使用するカラム数を指定している。

c1とc2の値は、グラフィックスデータを表わすために使用するカラム数を指定するものである。1バイトで256の値しかコード化できないため、もう1バイト使って拡張を行っている。c1は下の桁である。必要なグラフィックスカラム数を256で割った商が200値であり、余りが21となる。

各行の24ピンのカラムごとに、データのひとつひとつを3バイトでコード化する。最初のバイトは上の8本のワイヤを、2つ目のバイトは真ん中の8本のワイヤを、最後のバイトは下の8本のワイヤをそれぞれコード化している。1バイトのコードの中で最下位のビットは、8個1組みのドットの一番下のドットをコード化したもので、最上位のビットは、8個1組みのドットの一番上のドットをコード化したものである。1という値は、ドットが1つ用紙上に表示されることを示している。

PostScript

レーザープリンタは単なるプリンタ以上のもので、そのほとんどが完全なコンピュータの頭脳を持っている。中には接続されるコンピュータよりも頭の良いものも多数ある。レーザープリンタが理解する命令にその知性が表れており、実際、ソフトウェアのレーザープリンタ制御命令はコマンドというよりは、むしろプログラム言語に似ている。

大量のグラフィックスを作成している人たちの間で最も人気の高いプリンタ制御法は、Adobe Systemsの「PostScript」というページ記述言語である。PostScriptが最初に開発されたのは 1985 年のことである。これは、グラフィックの要素を記述したコマンドとコードからなり、グラフィック要素を印刷ページのどの場所に表示すべきか指示するものである。コンピュータが高水準の PostScriptのコマンドをレーザープリンタに送ると、プリンタはコマンドを実行してイメージそのものを描き

出す。実際上、データ処理の負荷はプリンタに移動しているわけで、こうしたグラフィックスのコマンドを実行するためにプリンタは理論上は最適化されている。しかし、それでも、PostScriptのコマンドがすべてプリンタに転送されてから、プリンタが1ページ全体のイメージを計算するのに数分かかる場合もある(古い PostScript プリンタでは、1ページ全体のグラフィックスを処理するのに30分以上かかってしまうことがある)。

PostScript の長所は、その柔軟性である。 PostScript ではアウトラインフォントを使用しているが、このフォントは実際のどんなサイズにも拡大縮小することができる。その上、機種や解像度に制限はない。300dpi のプリンタを制御している同じコードで、2,500dpi のタイプセッタが動き、可能な限り高い解像度で最高品質のイメージを作成できるのである。したがって、PostScriptファイルから Laserjet プリンタで草稿を印刷し、それを十分チェックしてから、同じファイルをタイプセッタに送って版下を作成するといった利用法が可能になる。

1990年6月、Adobe Systems はいくつかの改 良を加えた PostScript の新バージョン、Level 2 を発表した。最も目につく点はスピードとカラー である。Adobe Type Manager で使用してい るフォントレンダリング技術を採用した結果、 「PostScript Level 2」は以前の 4 倍から 5 倍のス ピードで文書が処理できるようになった。加えて PostScriptは、プリコンパイルし、名前をつけ、 キャッシュし、PostScript 搭載機内のメモリ(また はハードディスク) にダウンロードしておくことの できる、"リソース"と呼ばれる新たに標準化され たオブジェクトのクラスを持っている。したがっ て、印刷するほとんどすべてものを、アートワー ク、パターン、フォームといったリソースとして 分類することにより、能率よく処理することが可 能になったのである。また、PostScript Level 2 はメモリの使用を効率よく管理できるため、ダウ ンロードするフォントやビットマップグラフィッ クス用に、プログラムが前もってメモリを割り当 てておく必要もない。PostScript 搭載機内のディ スク記憶装置を処理する新しいファイル管理機能

も内蔵している。さらに、データ圧縮、伸長の機能も内蔵されているため、ビットマップイメージ (そのほかの大きな図形も)の転送は圧縮した形でより高速に行い、転送後にプリンタやそのほかの装置内で展開できる。

PostScript にカラーが初めて採り入れられたの は 1988 年であったが、PostScript Level 2 では カラーが大きく考慮されている。PostScript 搭載 機ではそれぞれ独自のカラー処理法を採用してい たが、PostScript Level 2 を使えばカラーは機種 に無関係に処理できる。また、カラーの質を改良 するために、新バージョンではどんな角度ででも カラーのハーフトーンのスクリーニングができる ようになっている。これはモアレ除去に役立ち、 結果として一層鮮明な描写が可能になっている。 Level 2 ではフォント処理機能も向上している。古 い PostScript ではフォントがそれぞれ 256 文字に 限定されていたが、Level 2 になるとフォントは 合成して作るため、フォントの種類は基本的には 無制限である。フォントの種類が多いと、ローマ ン体のアルファベットを使用しない言語(日本語 など) や区分発音符が多数ある言語には特に便利 である。

また、Level 2 は「Display PostScript」をサポートしている。これは、PostScript のコードをディスプレイ画像に変換するための拡張部分である。そのほかにも、プリンタに広く普及しつつある機能の多くを機種に関係なくサポートしており、ペーパートレイ、用紙寸法、給紙、それに書類をステープルでとじるといったことまで、PostScript で制御することができるようになっている。

もちろん、普通の PostScript 対応のプリンタは、このような新しい機能を利用することはできない。Level 2 対応のプリンタは、一般に古いコードとは互換性がないからである。完全に互換性がないというわけではなく、ほとんどの場合は、Level 2 対応のプリンタは普通の PostScript コマンドを問題なく処理できるが、Level 2 の機能をすべて利用するには、新しい PostScript2 のソフトウェアドライバが必要となる。

PCL

Hewlett-Packard の PCL (Printer Control Language) は、初歩的な (現在の水準から見た場合) インクジェットプリンタを制御するために初めて開発されたものである。同社からより精巧なレーザープリンタが登場するに伴い、PCL は拡張され、改良が加えられていった。現在までに 5 回大きな改訂がなされ、最新バージョンは PCL5 と呼ばれている。

PCLの機能は、精巧なプリンタコマンドセットのようなもので、長い文字列により LaserJet プリンタの様々な機能を引き出す。したがって本当の意味のページ記述言語ではない。

PCL4までのバージョンは、プリンタの様々な機能を引き出す制御コードのシステムに過ぎなかったが、PCL5では、描線コマンドが多く加えられ、様々に拡大縮小の可能なフォント(スケーラブル(アウトライン)フォント)を処理する能力を備えることで、一層の前進を見せている。

PCL5は、正式には1990年2月26日、「Laser Jet III」の発表と共に登場した、4つの旧バージョンに続くPCL言語である。PCLは通常Laser Jet プリンタを前提として作られているが、PCLの最初の2つのバージョンは、レーザープリンタがどのメーカーからもまだ登場していない時期に発表されている。PCLの最初のバージョンを使った初めてのプリンタは、HPのインクジェットプリンタ「Think Jet」だった。HPの最初のレーザープリンタであるLaser Jetの最初の機種に採用された制御言語は、PCLの3番めのバージョンであるPCL3である。

PCL3標準互換のプリンタがテキストモードで使えるのは、カートリッジフォントのみである。ページ大のグラフィックスは、ホストコンピュータで作成した後、1ビットずつプリンタへ転送しなければならない。

次なる大きな改訂は、初期のデスクトップパブリッシングや類似のアプリケーションの要求に応えて行われた。これらのアプリケーションでは、種類の少ないカートリッジフォントでは済まなくなっていたためである。こうして改訂されたのがPCL4で、同じページに複数のフォントを混在さ

せ、ダウンロードしたフォントが使用できるようになっている。しかし、これらはビットマップフォントで、所定のページに一方向でしか印刷できなかった。なお、初歩的なボックスドローイングやボックスの塗りつぶしはある程度行うことができた。

スケーラブルフォント以外に、PCL5にはベクトルグラフィックス機能が加えられている。これは、精巧にページを構成する高度な機能で、これによって、同じページを縦置きでも横置きでも印刷でき、また、白抜き文字や、影付け、字体のパターンの変更などが可能になった。さらに、PCL5にはプロッタコマンドの業界標準となっている Hewlett-Packard のグラフィックス言語、HP-GL の縮小バージョンが組み込まれている。

PCL5を使えば、PostScript プリンタが作成したのとまったく変わらないイメージを用紙上に実現できるが、実際には PCL5 と PostScript との間にはかなりの違いがある。PostScript は基本的に機種の制約を受けない。比較的安価なデスクトップ型レーザープリンタから高価なタイプセッタまで、パーソナルコンピュータから送り出される PostScript のコードは同一である。

これに対して、PCL5 は使用できる機種が限定

される。現在のところ 300dpi のレーザープリンタ でしか動作せず、そのコードはタイプセッタでは 使用できない。ただし、PCL5 の方が使用にあた りライセンスを必要としないので、PostScript よりも安価という利点がある。

PCL5 が発表から1年を経過する中で、Hewlett - Packard のプリンタだけにしか使用されないま まであったなら、ただの好奇の対象としかなりえ なかったであろう。しかし状況は刻一刻と変化し、 PCL5 はレーザープリンタを制御する最新のデファ クトスタンダードへと変わりつつある。すでに多 くのチップメーカーが、PCL5 を理解するレーザー プリンタ用のコントローラを開発しており、プリ ンタメーカーはこれらのコントローラを購入して 自社の製品に組み込んでいる。現在ではこのよう な高性能なコントローラの入手は容易で、すぐにも PCL5 互換のプリンタで市場が溢れかえるといっ たこともありうる状況である。これは、PostScript 相当の印刷品質を、より安い価格で手に入れるこ とができるということであり、新しくレーザープ リンタを購入する際に PCL5 互換機を選ぶ十分な 理由となる。

16.5 フォント

レーザープリンタ (および同種の LED シャッタ プリンタ、LCD シャッタプリンタ) はすべて、高い 称賛を得ているドットマトリックスプリンタの1 つである。子供の積み木から城が築かれるように、 ひとつひとつの文字はドットで構成される。文字 は巨大な三目並べの碁盤のような升目の中へ分割 され、その中のどの部分が明るいか暗いかによっ て、個々の文字の形が決まる。

こうした明暗のパターンをコード化するための情報を、どのように記憶するかでフォントが違ってくる。一般的には、フォントを記憶するのに、ビットマップフォントとアウトラインフォントと呼ばれる2つの技術のいずれかが用いられている。

ビットマップフォントは、マトリックスを構成するドットのパターンとして各文字をコード化し、個々のドットの位置とカラーを記憶するものである。大きなサイズになれば多くのドットが必要となるため、小さい文字とは異なるパターンコードが必要となる。実際、文字の大きさ、文字のウェイト(ボールド、コンデンス、ライトなど)のほか、文字の傾斜(ローマン体をイタリック体にする)ということにまで、それぞれ固有のコードが必要である。いいかえれば、1種類の文字にそれぞれ異なる何十ものビットマップフォントが必要となる場合もあるわけだ。

アウトラインフォントは、数学的な記述として

各文字をコード化したもの、つまり、基本的には 文字を構成している一画一画(ストローク)をコー ド化して文字を作り上げるものである。文字の輪 郭(アウトライン)はこのストロークが定義してい る(この技術の名称もこれに由来する)。したがっ て、コンピュータやプリンタは、印刷に必要なビッ トパターンを作成する際には、メモリに記憶され た各文字を描けという数学的命令を実行するラス タイメージプロセッサ (RIP) の役割を果たしてい ることになる。ほとんどの字体では、1つの数学 的記述でどのような大きさの文字でも作成できる。 最終的な文字の大きさに合わせて、文字の個々の ストロークの大きさを単に拡大縮小するだけでよ いのだ(このため、アウトラインフォントはスケー ラブルフォントとも呼ばれることがある)。した がって、1つのコードでどんな文字サイズにも対 応できるわけだが、異なったウェイトや傾斜にな るとまた少し違った別のコードも必要になる。1 種類の文字に対して1つのコードで表わすことが できるフォントの種類は比較的少なく、ノーマル、 ボールド、ローマン、それにイタリックといった 字体の組み合わせだけである。

フォントを拡大縮小するだけで、ほとんどの場 合は満足できる程度の印刷結果が得られる。しか し、もっと読みやすくもっと鮮明なテキストを作 成しようとすると、一般的に、小さな文字は大き な文字とは少し違った形になってしまう。たとえ ば、各文字のセリフは、小さな文字の場合はほか の部分と均整のとれた形で心持ち大きめにしない と、消えて見えなくなってしまうことがある。ビッ トマップフォントの場合は、各サイズの文字を別々 に設計できるので、このような問題は自動的に補 正される。一方、アウトラインフォントでは、各 字画を記述する方程式の中に、特定のサイズでき れいに文字をつくるために、変更すべき点につい ての指示(ヒント)を入れることができる。こうし た追加情報が含まれたアウトラインフォントをヒ ンテッドフォントといい、特に大きなサイズ、大 見出し、そしてきわめて小さなサイズの文字をそ れぞれ鮮明な形で作成するのに用いられる。

PostScript Level 2 では、アウトラインフォントのレベルがさらにもう一段階向上している。そ

のマルチプルマスタフォントを使えば、1種類の 文字に属する複数の字体を、1つのフォントとし てコード化できる。つまり、1つのフォント定義 で1つの字体のイタリック体、ローマン体、ボー ルド体(そのほか全サイズ)をすべてカバーするこ とができるのである。

アウトラインフォントを記憶するのに必要な方 程式は、一般にビットマップフォントよりも記憶 容量(ディスクまたはメモリ内のバイト数)が多く 必要である。しかし、アウトラインフォントのす べての種類の文字を記憶するのに必要な容量は、 ビットマップフォントの1つの種類の文字を記憶 するよりもかなり少ないスペースですむ(アウト ラインフォントの場合、1つのフォントで全サイ ズを受け持つからである)。通常のビジネス印刷 の場合は、使用するフォントの種類は(サイズのバ リエーションを含めても)1ダースにも満たないの が普通で、この点に関して両者の違いはそれほど 重要ではない。しかし、グラフィックアーティス ト、出版社、そのほか活字や印刷で実験を試みた い人にとっては、アウトラインフォントはおおい に融通のきくフォントであるといえる。

一方、ビットマップフォントは印刷速度が早い。 アウトラインフォントは一段階余分な計算(ラスタイメージ処理)を行わなければならないために、 印刷時間が長くなるのに対し、ビットマップフォントは余分な操作なしに、メモリから直接検索することができるからである。

記憶と検索

フォント文字を記述する情報は、どこかに記憶しなければならない。このためにとても大きな容量が必要になる場合があることを考えると、フォントをどこに記憶させるかということは、パーソナルコンピュータやプリンタの使用法に大きな影響を与えることもありうる。

ドットマトリックスプリンタの場合と同様に、レーザープリンタが内蔵しているフォントの種類は少ない。どのレーザープリンタにも標準装備されているのは、タイプライタの時代から続いている、お馴染みの10ピッチのクーリエである。クーリエの最も親しみのある特徴は(少なくともソフト

ウェア設計者とプリンタ設計者にとっては)、それが"モノスペース"であること、すなわち、各文字がまったく同じ幅であるということであろう。この字体のビットパターンは、ほとんどすべての機種のROMにコード化されて組み込まれている。クーリエは、文字印刷のコマンドを与えるだけで即座に引き出すことができ、一般にこの方法で使用されている。

プリンタの中には、そのほかの字体も ROM に 持っているものがあるが、その数は多くの理由に より異なる。大手メーカーの場合は、ROM 内に 組み込む字体数はできるだけ少なく抑えているが、 一方弱小メーカーは、製品に競争力を持たせるた めに字体数を多くしているのが一般的である。

■ フォントカートリッジ

プリンタへはいくつかの方法でフォントを追加できる。最も追加作業が簡単なのはフォントカートリッジである。カートリッジ内にある ROM チップには、様々な字体を作成するドットパターンが記憶されており、カートリッジ自体は、この ROM チップとプリンタへの接続用のコネクタとを収める単なるケースである。カートリッジを接続するだけで、プリンタ内の ROM にカートリッジ内のROM を追加する作業は完了である。インパクトプリンタやレーザービットイメージプリンタの多くは、フォントカートリッジが使用できる設計になっている。

気をつけなければならないのは、各メーカーのカートリッジはそれぞれ種類が異なり、お互いに互換性がないことである(ときには、同じメーカーのものでも、プリンタの種類が異なればカートリッジに互換性がないこともある)。これに対し、レーザープリンタメーカーの中には、自社のプリンタを Hewlett-Packard のレーザープリンタ用カートリッジと互換にしようとしているところもある。

フォント自体に費用がかかることのほかに、フォントカートリッジ技術の欠点としてあげられるのは、利用できるカートリッジスロットの数が限られていることである。1つのカートリッジに記憶できるフォントの数は、せいぜい6~12種類である。特にビットイメージフォントにとって、こう

した容量の小ささは足かせとなりうる。この問題を回避するため、進取の気概に富むデベロッパー数社が、1つのカートリッジに何十種類ものフォントを詰め込むことに取り組み、すでにそれに成功している。

■ ダウンロード文字セット

ほとんどのレーザープリンタは、フォントをダウンロードすることも可能である。つまり、文字の記述をパーソナルコンピュータのメモリからレーザープリンタ内の RAM へ転送し、あたかも ROM にあるかのように個々の文字を必要に応じて呼び出すことができるのである。これらの文字はダウンロード文字セットと呼ばれたり、また、ソフトウェアとして転送されるのことからソフトフォントとも呼ばれたりする。一般にソフトフォントは、ソフトウェアの場合と同じように、フロッピーディスクの形で購入し、パーソナルコンピュータのハードディスクにコピーして使用する。レーザープリンタに使用するソフトフォントは、ハードディスクの容量が許す限りいくらでも記憶させることができる。

ソフトフォントにはいくつか欠点もある。プリンタのスイッチを切れば、追加したソフトフォントもメモリから消えてしまうため、ソフトフォントを使う度に、パーソナルコンピュータからプリンタへ転送しなければならないことである。さらに、プリンタの RAM のかなりの量を占有してしまうが、レーザープリンタのメモリ容量には限界があるため、ロードできるソフトフォント数が制限されることである。グラフィックス印刷のためにメモリに余裕を残そうとした場合、一般に記憶可能なフォント数は8種類程度である。

ソフトウェアの中には、必要なフォントのビットパターンを独自に作成するものがある。これだと、ソフトフォントがプログラムに組み込まれているのと変わらないことになる。ソフトウェアは、(プリンタでビットパターンに転換されるキャラクタストリームを送る代わりに)作成したビットパターンをプリンタへ転送するのだが、この技術には大きな代償が伴う。ビットパターンはキャラ

クタよりも多量のメモリを必要とするため、レーザープリンタにも大きなメモリが必要となり、最高レベルの解像度で1ページを印刷するには 1M バイト以上のメモリが必要となるのである。さらに悪いことには、データの分量が大きくなればなるほど、それだけプリンタへ転送する時間が長くかかり、結果として印刷時間が長くなるのである。

Hewlett-Packard の LaserJet の印刷規格に準拠した古いプリンタでは、カートリッジフォントやソフトフォントを使わないときと同様に、ごく簡単なグラフィックス以外はすべてこうしたビットイメージの転送が必要であった。これに対し、ページ記述言語は、テキストであれグラフィックスであれ、1ページ全体をコード化した形で高速に転送することができる。したがって、高性能なレーザープリンタではページ記述言語の使用が趨勢となっている。

このタイプの言語で最もよく知られているの が、PostScript と PostScript Level 2 である。 PostScript は Adobe Systems の特許製品で、プ リンタメーカーにライセンス使用が認められてい る。このため、ライセンスを得て PostScript を 搭載しているプリンタは、PostScript を搭載しな い機種に比べてライセンス費用分価格が高くなっ ている。この費用を払わずにすむように、多くの メーカーが方向転換をして、PostScript 互換の言 語を開発している。PostScript 互換の言語を使用 するほうが費用は少なくてすむ。現在、こうした クローンは PostScript に十分匹敵するほどのもの となっているが、PostScript Level 2への移行に は追いつけないでいる。PostScript ではアウトラ インフォントを利用しており、実際、PostScript 対応のプリンタのほとんどに35種類のアウトラ インフォントが組み込まれている(値段の安いも のの中には、17種類しか標準装備していない機種 もある)。

Hewlett - Packard 製のプリンタは、もう少し 規模の小さい制御言語、PCL を使用している。最 新の LaserJet III シリーズでは PCL5 を使用して おり、アウトラインフォントが利用できるが、もっ と初期の LaserJet プリンタ (LaserJet, LaserJet Plus, LserJet II シリーズ) では、アウトライン フォントを受け付けない PCL の旧いバージョンを使用している。

要するに、ダウンロード可能なフォントを利用 するためには、ほとんどの場合、PostScript 対応、 PostScript 互換、または PCL5 互換のプリンタが 必要ということである。

フォントフォーマット

しかしながら、アウトラインフォントはすべてが 同じものではない。数種類の標準が存在してしまっ ているため、追加するフォントはハードウェアやソ フトウェアが採用している規格に合ったものでな ければならない。このようなフォント規格のおもな ものに、「Intellifont」、「Typel (PostScript)」、 「Speedo」、「TrueType」がある。

LserJet III シリーズのプリンタ(および PCL5) に標準装備されているフォントフォーマットは Intellifont と呼ばれる。Agfa Compugraphic と Hewlett—Packard との共同開発によるこの In tellifont は、ラスタ走査が速いことで知られ、LaserJet プリンタの人気を考慮すると、最も広く使用されているフォントといえるだろう。カートリッジフォントの場合は、フォントのフォーマットについて心配する必要はない。カートリッジが適合しさえすれば動作するし、レーザープリンタやその互換機に差し込むカートリッジなら Intellifont のキャラクタを使用しているからだ。また、LaserJet III プリンタとその互換機のダウンロード可能なアウトラインフォントも、Intellifont 形式を使用している。

一方、PostScript 対応のプリンタは Type1 を使用している。Type1 は恐らくフォントの種類が最も豊富である。「Adobe Type Manager」を使っている Windows では Type1 のフォントを使用することができる。また、OS/2の1.3 以降のバージョンでは Type1 のフォントがサポートされている。

多くのプログラムが「Bitstream」フォントを使用しているが、このフォントは Speedo と呼ばれる独自のフォーマットを持っている。通常、このソフトウェアは、パーソナルコンピュータで文字を作成し、ビットイメージの形でプリンタへ転送す

るという形で動作する。Speedo フォントは Lotus 1-2-3 と Freelance が使用している (DOS バージョン)。また、Bitstream の「FaceLift for Win dows」を併用すれば、Windows でも Bitstream の Speedo フォントを使用することができる。

Microsoft Windows3.1 は、「TrueType」という独自のフォーマットを持っており、これは Macin tosh 用の OS である Apple の System 7 でも使われている。Windows3.1 には 13 種類の TrueType フォントがついてくるが、Windows のコントロールパネルを使えば、もっと多くの TrueType のフォントを簡単に組み込むことができる。 TrueType は、別のフォントフォーマットを使用しているプリンタとも互換性がある。たとえば、LaserJet の場合、使いたいフォントがあれば、TrueType が、搭載されているアウトラインフォントの1つから

ビットマップ Laser Jet フォントを作成し、そのフォントをプリンタへダウンロードしてくれるのである。この場合では、ビットマップではなくキャラクタをプリンタに送ってやるだけでよいわけだ。同様に PostScript プリンタでも、True Type は自らのフォントを(フォントに応じて) PostScript アウトラインフォントやビットマップフォントに転換し、それらをプリンタへ送っている。

Windows にはフォント選択の柔軟性がある。 アウトラインフォントのパッケージにはすべて、 Windows へのインストールを行うプログラムが 付属されている。さらに、Windows のフォント マネージャは、ほかの主要なフォントフォーマット(Adobe Type Manager, FaceLift for Windows, Intellifont for Windows)も使用すること ができる。

16.6 カラー印刷

カラー出力を要求するアプリケーションが増えている。それに対してプリンタ業界は、低価格のものから写真に近い品質のものまで、個々のニーズに合った数々の技術を揃えてこれに応えてきた。

インパクトドットマトリックスプリンタの多くは、用紙に打ち出すアルファベットやグラフィックスにカラーを加えることが可能である。少数ではあるが、(旧式のタイプライタのように)2色のリボンを使い、特別なソフトの命令で色の切り換えを行っているものがある。

現在ではほとんどのカラープリンタが、3色か4色のインクリボンを使い、これらの色の組み合わせによって、用紙上に7種類の色を表現できるようになっている。たとえば、黄色の上に青を重ねて打ち出すと緑に近い色が得られる。色を切り換えるには、プリンタの機構でリボンを上下に切り換えるだけでよい。この場合追加しなければならない装置は簡単なもので、価格も安く、せいぜい50ドル程度である(もちろん、カラーリボンはモノクロリボンに比べて価格も高く消耗も速い)。

色が異なるリボンを必要な色数分だけ使用するという機種も少ないながらあるが、いずれにしても効果や必要な条件はどちらも同じことである。

カラーではノンインパクトマトリックスプリンタが優れている。インクジェットは、その液体インクが乾燥する前にインクを用紙上で実際に混ぜ合わせることができるため、カラー印刷には適した技術である。ただし、カラーのインクジェットプリンタはモノクロのものに比べると機構がかなり複雑で、また、各原色ごとに別々の専用インク筒とノズルが必要なため、価格も相応に高くなる。サーマルワックスマトリックスプリンタの場合は、そのほとんどが特にカラー出力用として設計されている。透明なインクを使って用紙上で色を重ね合わせており、1つの色がほかの色を通して透けて見え、重なった色が視覚的に混じり合うので、必要な色合いを作り出すことができる。

カラープリンタで唯一問題となるのは、その色 とりどりの虹に息吹を与える特別のソフトウェア が必要なことである。適当なソフトウェアがない 場合、多色印刷の能力を利用するためには、コンピュータプログラミングを知っていなければならない。現在、ほとんどのインパクトカラープリンタは Epson の「JX-80」が設定した規格に準拠しているが、この規格では、通常のコマンドセットに

リボンカラーを切り換えるエスケープコードを1つ加えている。サーマルワックスプリンタとフェーズチェンジプリンタは、通常 PostScript を使用しており、PostScript 2 がこれらのプリンタの共通のカラー言語となるであろう。

16.7 用紙の処理

タイプライタで改行キーを叩くように、プリンタでも用紙を1行ずつ進めなければならない。プリンタとそのオペレータがこの改行作業を行うのを助ける方法がいろいろと開発されている。プリンタに自分の思い通りにプリントさせるためには、プリントの際の用紙の処理の仕方や、処理できる用紙の種類に関する仕組みを詳しく知っておく必要があるだろう。

フリクションフィード

旧式のタイプライタの紙送りは、プラテンという大きなゴムとそれより小さいローラーとの間に 用紙を押し込むという機構で行われていた。この 機構では、用紙はプラテンを巻くようにセットされ、その上からハンマーが打ち付けて印字する。 用紙はペーパーベイルで上から押さえられているが、用紙を挿入する時は邪魔にならないように、 用紙から離す。用紙が印字されるごとに1行ずつ 巻き上げられていくときは、プラテンとローラーとペーパーベイルの間の摩擦で、用紙が滑らないようになっている。この紙送りシステムはしばしばフリクションフィード(摩擦送り)と呼ばれる。

ほとんどの場合、フリクションフィードといえば、用紙の挿入は手作業であるという意味が含まれている。使用者が自分でペーパーベイルを上げ、紙を1枚挿入し、プリントヘッドが斜めにタイプしないように用紙を水平に整え、用紙を固定し、ペーパーベイルを下げ、最後にすべて完了したという信号を機械に送らなければならない。もちろん、言うは易く行うは難しである。もしブリタニカ百科事典のコンピュータ版を印刷しようなどと

思ったら、難しいこと以上に飽き飽きしてしまうことだろう。プリントアウト中は側にいて、わき目もふらずにプリンタに注意を払い、1枚印刷が終わるごとに新しい用紙をセットしなければならないのだ。

しかし、この仕組みにはプラスの面もあり、ほとんどのフリクションフィードでは、装置にうまく挿入できる用紙であれば、自分専用の便箋や、W-2から W-1040 規格の封筒、索引カードなど、どんな大きさの用紙にも印刷できる。

自動シートフィーダ

人がすることは何でも、誰かが必ず機械にもや らせてみようとするものだ。しかし、その機械を 手の出せるような価格にできるかどうかは別問題 である。フリクションフィードプリンタへの給紙 もこの例外ではない。自動シートフィーダ(また はビンフィード)と名付けられたこの装置は、人 間が手を出したり注意を払ったりしなくても、標 準サイズの用紙や無罫紙であれば、そのほとんど を自動的にプリンタに挿入することができ、退屈 やイライラから人を解放するものである。残念な がら、シートフィーダは、コンピュータシステム を拡張する付属装置の中では最も複雑なものの1 つで、複雑すぎて使いものにならない発明品のよ うなものも数多くある。一般に値段というものは 複雑さに応じて上昇するものであり、当然シート フィーダも高価で、簡単に数百ドルといった単位 になる。ほとんどのシートフィーダは単票用紙用 に設計されており、コピーを作るには、別の紙で もう一度印刷しなければならない。もちろんカー

ボンは使用できない。2枚以上コピーが必要なら、 印刷も2回、3回と行わなければならない。

ロールフィード

フリクションフィード装置に紙を挿入する回数を減らすには、紙を長くすればよい。実際に、長く連続した1枚の紙を使って印字を行うことができる。あるシステムではまさにこの方法を採用して、長いシートを(トイレットペーパーのように)ロールに巻き付けて使用している。プリンタは必要に応じて用紙を引き出すだけでよい。プリンタの後部にロールホルダーを取り付けておけば、用紙は常に真っ直ぐに揃えておくことができるため、紙のゆがみも生じない。

もちろんこのシステムの欠点は、1枚の長い紙のまま打ち出されるため、プリントアウトが終わったら、自分で用紙をカットしなければならない。従来の8.5×11インチのサイズでプリントアウトしたものが必要な場合には、自分で測って切らなければならないのだ。

ピンフィードとトラクタフィード

ロールフィードの紙に 11 インチ間隔にミシン目を入れておけば、簡単かつきれいに 1 枚 1 枚を切り離すことができる。しかしその場合は、別の問題が発生する。ほとんどのフリクションフィードは完全なものではないため、紙が滑って徐々にずれてしまい、印刷するイメージの途中でページが終わったり、ミシン目とページが変わる箇所が一致しなくなる状態が生じてしまう。用紙と印刷イメージとがずれてしまうのである。

これについては、紙滑りを抑えるスプロケットに用紙の端の穴を固定すれば、イメージと紙の切れ目とを常に一致させておくことができる。紙滑りをなくすために、スプロケット用の穴をあけた紙を使用している給紙システムには2種類ある。その1つ、ピンフィードは、プラテンローラの両端にドライブスプロケットを取り付けたものだが、このピンフィードの機構では、1種類の紙幅、すなわち、プラテンの両端にあるスプロケットの幅と同じ幅の用紙しか扱えないという欠点がある。一方トラクタフィードは、幅を調整できる可動型

のスプロケットを使用したもので、プリンタ幅に 収まる紙幅であれば、ほとんどすべての用紙が使 用できる。

名前が示すとおり、単方向トラクタは一方向のみに(前進方向であることが望ましい)用紙を引っ張る(または送り込む)タイプのもので、双方向トラクタは用紙移動が前方向にも後方向にも可能なものである。後者は、グラフィックスや特殊なテキスト(指数など)の印刷に有効で、プリントヘッドの位置に合うように用紙位置を調節する際にも便利である。

プッシュトラクタとプルトラクタ

プリンタ用のトラクタ装置は元々は二段式で、1組のスプロケットが用紙をプリンタの中へ送り、もう1組のスプロケットが紙を引き出す仕組みになっていた。しかし、トラクタフィードの本来の目的、つまり、印刷イメージを用紙とずれないように合わせるためには、スプロケットは1組あれば十分である。

スプロケットを1組だけにした場合、その設置場所は、プリントへッド正面のプラテンに用紙が巻き付く前かその後の、2箇所が考えられる。一部のプリンタには、どちらの場所でもスプロケットが使えるようになっているものもあるが、それ以外ではトラクタはどちらか一方に固定されている。

プッシュトラクタは、用紙がプリンタに入る手前の位置にあって、プリンタ内部を通して外まで用紙を押す仕組みのものである。プラテンローラは用紙が楽にプリンタを通り抜けられるように補助し、他方プッシュローラは主動力となって、用紙を正しく送り込む。この送り方には2つの利点がある。印刷終了後に余分にもう1枚用紙をプリンタに送り込んだり、再度入れなおしたりしなくても、プリントアウトした最後の1枚を切り離すことができるという点である。また、トラクタは比較的簡単に双方向に動くので、用紙を前へ押し込むだけでなく、引き戻すこともできる。

プルトラクタは、印字を行う部分から用紙が出てきた後の位置に置かれている。プルトラクタによってプラテンに巻き付いた用紙が引っ張られるのだが、この場合、プラテンと用紙はぴったりくっ

ついているため摩擦があり、用紙を引っ張るトラクタの力とこの摩擦の抵抗力とで用紙は平らに保たれる。プルトラクタのほうが機構が簡単なため、プッシュ型の設計より故障は少ない。

ほとんどのプルトラクタは一方向にしか動かないが、(丸形のラバー製プラテンの代わりに)平形の金属製プラテンを使ったプリンタでは高速な使用が十分可能である。一般に1分につき数ページという高速印刷が可能なことから、プルトラクタは、1枚ぐらい無駄があっても問題ない大量印刷業務で使用されることが多い。

シートフィーダ

他の形式のプリンタでは高価なオプションであり、すべてのレーザープリンタが必要上やむを得ず備えている複雑な機構がカットシートフィーダーである。レーザープリンタは積み重なった中から用紙を1枚だけ取り出し、複雑なイメージ作成装置の中を通して、外まで運び出さなければならない。今日のレーザープリンタが現在の動作レベルに達したのは、ほかでもないプリンタのエンジニアたちの創意工夫によるものである。しかし、機種によって、用紙処理の考え方やその使いやすさには著しい差異がある。

違いの1つは容量である。レーザープリンタの中でパーソナル用に作られた手軽なものは、トレイ(カセット)もあまり大きくなく、50枚程度しか入らないものがある。この場合は、10分から15分ごとに用紙を補充したり、印刷された用紙を取り除いたりして、プリンタの要求に応えてやらなければならない。もし、このタイプのプリンタで大量印刷などしようものなら、プリンタを子守りするのと同じで、一日の過ごし方としてはたいへんつまらないものになるだろう。

レーザープリンタでは、印刷後の用紙の吐き出し方に2通りの方法がある。つまり、印刷された用紙がトレイに落ちる際に、印刷面が上を向くか下を向くかということである。印刷面が上を向いていれば、どんな恐ろしいことが用紙上に広がっているのかすぐに確認できるという点でよいが、やはり、下向きの方が賢明な選択といえるだろう。印刷された用紙が1枚ずつ前に打ち出された用紙

の上に重なっていく場合に、印刷面が下になって いれば、積み重なった用紙の山を正しい順序に揃 え直す必要がないからである。

用紙の両面に印刷するというプリンタとしての 最終段階が両面プリンタである。多量の報告書を 印刷する場合などは、用紙の消費量を半分に削減 することによりランニングコストを節減できるの で、高価な両面プリンタを購入しても元は取れる だろう。

用紙の制御

装置内の用紙移動をどの程度まで正確に行えるかという点でも、プリンタによって大きな差がある。厳密な許容誤差しか許さず、用紙移動の単位が1インチの何百分の1(1/216インチ程度)という機種もある。一方、少数ではあるが、タイプライタの伝統を引き継ぎ、1行単位(または半行単位)でしか用紙を送れないものもある。

趨勢としては、一層精密な制御に向かっている。 その方がテキスト印刷では書式の柔軟性が広がり、 グラフィックス印刷でも精密さが増すからである。 たとえば、前者の場合なら、原稿用の1インチ6 行の書式からビジネスレター用の1インチ8行の 書式へと行送りを切り換えることができ、骨の折れる論文の宿題などの場合には、各行の送りをほんの少し長くして、10ページ分を12ページ分にごまかすこともできる。

プリンタは、用紙の前後の動きに対するもう1 つの方向の動き、すなわち、プリントへッドの横の 動きをどのように制御するかという点でも異なっ ている。少数の旧式のプリンタは、現在でもタイ プライタの機械式の歯車で動いている。しかし、 ほとんどの新式の機種では、テキストモードでは 文字ピッチを、グラフィックスモードではドット 間隔や印刷スピードを切り換えられるようになっ ている。こうした柔軟性は、プロポーショナルの テキスト印字やグラフィックの多様な濃度を表現 するのに必要である。

スマートプリンタとダムプリンタ

プリンタは単に暴力的な紙打ち機械ではない。 プリンタには頭脳もなければならない。最も安い インパクトドットマトリックスプリンタでも、イ メージを構成するひとつひとつのドットを用紙上 の正しい位置に正確に打ちつけるためには、印字 ワイヤの1本1本を突き出す正確な瞬間を判断で きるだけの知性が必要である。レーザープリンタ の場合は、フォントカートリッジ内の各文字を用 紙上の正しい位置に合わせ、1枚印刷し終わるま でに、恐らく700万回以上光線を飛ばさなければ ならない。デイジーホイールプリンタでは、回転 するホイール上の必要な文字が、ハンマーとぴっ たり一直線にそろった瞬間に合わせてハンマーを 打ち付けなければならない。さらに、いずれのプ リンタでもその舞台裏では、ボールド体の文字を 印字するとか、フォントを変えるとかといった高 度な作業を実行するために、送られてきたデータ から印刷文字とコマンドとを区別しなければなら ないのである。

プリンタは生まれながらの知性にかなりの差がある。多くのプリンタは操り人形にすぎず、命令を受けてそれを実行するだけであるが、もっと大きな能力を有するプリンタもたくさんある。印刷する書式に従ってデータを並べることまで可能な機種もある。

古典的な全機械式のテレタイプに代表される古 いプリンタの知能は、印字が用紙の端に到達して いることすら判らないといった程度のものだった。 送られてきたデータの適切な箇所に改行を入れて 短い行に分割しなかったり、テキスト内に改行文 字が入っていなければ、この手のプリンタは小説 一冊分の文字ですら喜々としてプラテンに打ち続 けて、最後にはプラテンにすっかり穴をあけてし まうだろう。現在のプリンタの多くは、ほとんど が原始人に等しい程度の頭脳を持っており、何を すべきかを正確に教えてくれるコンピュータとそ のソフトウェアに従って動作している。特定のプ リンタを使用するように設計されている、ワード プロセッサなどのコンピュータプログラムの中に は、データの流れの中に特殊な ASCII コードを 追加する、特殊なプリンタドライバソフトが組み 込まれているものもある。プロポーショナルで文 字を印字するために、文字の間を移動するプリン

トヘッドの1インチの何十分の1、何百分の1といった細かな動きのひとつひとつ、打ち出す文字のひとつひとつ、プラテンの回転のひとつひとつ、これらすべてがコンピュータプログラムによって具体的に指示され、プリンタへと送られる。

しかしその一方で、頭の良いプリンタなら、これらと同じテキスト処理機能を独力で引き受けることができる。ほとんど書式設定のされていない一続きのテキストを受け取り、それを均整の取れた間隔の行に分割し、ページの上下には適切なマージンを残すことができるのである。このような様々な仕事をこなすために、現在では価格の高くないプリンタですら、専用のマイクロプロセッサを内蔵している。プリンタは内部のミクロの頭脳の助けにより、デイジーホイールの正しいペタルを印字ハンマーの正面に持ってきたり、ドットマトリックスプリントヘッドのワイヤの打ち出しのタイミングを計算したりしているのである。

水平タブと垂直タブ

プリンタの知性が発揮される場の1つが、プリ ントヘッドの動作を最適化すること、つまり、プ リントヘッドの移動を最も効率よくすることであ る。プリンタ内部のマイクロプロセッサは、メモ リの先を見て、次に何がやって来るかを把握し、 次の行への移動距離を最短にする方法を考えて、 プリントヘッドや印字ホイールを最適化すること ができる。この場合の目標は、プリントヘッドの 移動をできるだけ早くすることである。しばしば ロジックシーキングプリンタと呼ばれるこの種の プリンタでは、プリントヘッドの移動を最適化す るために数多くの技術を駆使している。水平タブ を使えば、ひとつひとつのスペースで立ち止まっ て、ここは印字するのかしないのかいちいち考え なくても、各行のブランクスペースを一瞬にして 用紙上に表わすことができる。垂直タブも効果は 同じで、ページ中の空行をプリントヘッドが巧み に飛び越えることができる。これら2つの技術に 双方向印刷が加われば、これらの機能のない機種 と比べると、印字速度の仕様は同じでも、普通の 書類なら実際の印字速度は速くなる。

16.8 消耗品

消耗品とは、プリンタがその作業を行うことで使い果たし、すり減らし、燃やし尽くすもののことである。用紙は消耗品の代表的なものであり、どのプリンタでも必ずその需要がある。そのほかの消耗品の中には、実際に消耗して費用が発生していることが明らかに目に見えるわけではなく、場合によってはまったく分からないものもある。

これらの消耗品の費用に敏感で、古いドットマトリックスリボンの印字が薄くなり読みづらくなり始めて2、3箇月も経ってから、ようやく5ドルの新品のリボンを注文し、購入後十年というプリンタの寿命の残りの期間をこれでもたせようとする人もいる。しかし、現在の最高品質のプリンタ(レーザー、サーマルワックス、ダイディフュージョン)のいずれかを購入すると、いやがおうにも驚きを味わなければならない。トナーや転写シートを交換すると、旧式のドットマトリックスプリンタの価格と変わらない費用がかかってしまうのである。

レーザープリンタのランニングコストが高価になってしまうのは、1ページ印刷するごとに機械の一部がごく少量だが消耗されているためである。有機質の感光ドラム上に印刷イメージが作成されるのだが、印刷のたびにこのドラムが少しずつ減っているのである(ドラムの新素材であるシリコンは、プリンタの耐用期間中はもつことになっているが、今のところシリコンドラムを使っているが、今のところシリコンドラムを使っているプリンタは多くない)。コロナ放電器やそのほかの部品も定期的に交換する必要があるだろう。サーマルワックスプリンタの場合、機械は消耗しないが、インクを大量に消費する。その量は、用紙の1ページごとに最高モノクロの4ページ分にもなる。

これらの消耗品の費用をランニングコストとして算出すれば、レーザープリンタの場合は、1ページにつき2セントから5セント(用紙代は含めない)の計算になり、サーマルワックスプリンタでは、1ページにつき5ドルにもなる。

このため、プリンタの寿命が終わるまでに、消

耗品にかかった費用がプリンタそのものに払った 金額をすぐに越えてしまうことがあり得る。しか しそれより重要なのは、消耗品にかかる費用がプ リンタの機種によって異なるということである。つ まり、各々の代表的なプリンタを考えてみると、寿 命が終わるまでに費やされる消耗品の費用の違い が、購入価格の違いをはるかに超えてしまうケー スもあり得るのだ。

サーマルワックスプリンタはレーザープリンタよりもかなり高価なため、両者の消耗品の費用の違いはそれほど劇的に購入価格に影響を及ぼさない。それでも、消耗品が高価でない機種を選択することで、1ページにつき1ドル以上節約することが可能である。

消耗品の交換や補充が無駄に見えるプリンタもある。たとえば、Hewlett-Packardの LaserJetは、ドラムとトナーが一体になったカートリッジを使用するように設計されているため、トナーがなくなった場合、このカートリッジ全体を単品として、ドラムまで一緒に交換することになる。ほかのレーザープリンタは、トナーやドラム、ときには印字を用紙に定着させる機構も、それぞれ個別に交換できる設計となっている。

後者のタイプのプリンタを製造するメーカー側は、ドラムの寿命はトナーの寿命よりも長く、もっと多くの印刷に使用できるので、寿命前にドラムを捨てるのは不経済であると主張している。他方、一体型のカートリッジを使用しているメーカー側では、ドラムの寿命はトナーに合わせて作っているとする。

驚くべきことには、費用という観点からは、どちらの方法でも違いがないように思われることだ (ただし、エコロジーという立場からはそれぞれの 交換の仕組みはもっと大きな意味を持ってくる)。

カートリッジの詰め替え

レーザープリンタの消耗品にかかる高い費用を なんとか回避する方法の1つは、トナーカートリッ ジをカートリッジはそのままにして、中身のトナーだけ詰め替えることである。しかし、ほとんどのメーカーはこれを勧めていない。メーカーとしてはこの方法ではトナーの品質を管理できないため、ほかの会社の詰め替え用トナーが自社の機構に確実に適合することは保証できないからである。さらに、トナーの販売から得る利益を失うというのも理由の1つだ。

しかし、いずれにしても一番の問題は品質である。たとえば、HPの LaserJet III シリーズにおける高画質化技術では、ほかのプリンタが使っているトナーに比べて、粒子のかなり細かいトナーが必要である。単に目で見るだけではトナーの違いを見分けることはできないが、しみだらけのくすんだページが次々とプリンタから流れ出てくれば、その違いは自ずと明らかになる。カートリッジを詰め替える場合には、必ずオリジナルのトナーと同じ品質を得られるものでなければならない。

さらに注意しなければならないのは、一体型のカートリッジでは、トナーだけを補充すると、カートリッジ内のドラムや帯電線はそのまま使用しなければならないということだ。ドラムや帯電線は実際には耐用期間に指定されている以上の寿命を持つように作られてはいるが、耐用期間以上といっても、その2倍ということはない。したがって、カートリッジのトナーのみ補充すれば、ドラムは擦り切れたままで使用することになるのである。

しかし、これに対して、トナーを補充したカートリッジでも良好な印刷結果が得られたと報告している人たちがいるのは事実である。トナーの詰め替えで満足する結果が得られるかどうかは、詰

め替え作業の質たけでなく、個人的な基準にも依 存するのである。

用紙

様々なプリンタ技術のランニングコストを比較する場合、特殊な用紙が必要な機種は要注意である。ほとんどの場合、こうしたプリンタの専用用紙は、そのプリンタのメーカーからしか入手できないため、価格はメーカーが指定するままである。さらにその値段は、用紙の供給がそのメーカーに統制されているということと、製法が特殊であるという理由から、普通用紙を事務用品の卸売店で購入するよりもかなり高くなっている。

たしかに、プリンタに入る用紙ならどんな用紙でも装塡することは可能だが、一部のプリンタ、特にサーマルプリンタでは、間違った用紙を使用すると、イメージはまったく印刷されないし、ほとんどのプリンタでは、標準以下のイメージ出力となる。たとえば、インクジェットによる印刷イメージは、不適切な用紙では紙がインクを吸収するためぼやけてしまい、カラーの鮮明度は悪くなる。それ以外の影響はもっと微妙なものだろう。レーザープリンタでは不適切な用紙を使うと、給紙が乱れ、紙詰まりを起こしてしまったり、黒印刷がまだらになったり、灰色になることがある。レーザープリンタの中には、プリンタが正常に動作するための用紙の湿気含有量に対して、特定の要件のあるものもある。

推奨されていない用紙を使用したければ、実際 にやってみて、そこから得た結果を自分で評価す るに限る。

16.9 プリンタの共有

2台プリンタがあることが、必ずしも1台しかない場合より良いとは限らない。たとえば2台の方が費用がかかるというのがその理由だ。ビジネスの多くの場面では、2台以上のコンピュータで1台のプリンタを共用することにより、2台目にか

かる費用を節約することが可能である。たしかに 四六時中印刷している人はいないのだから、この 方法は有効だ。実際、そんなにしょっちゅう印刷 ばかりしている人には、印刷する価値のあるもの など作り出す時間は残っていないはずである。通 常のオフィスワークではプリンタに遊び時間があるので、その時間にプリンタを誰かほかの人の使用に供することが可能である。

プリンタを共用する方法には、ソフトウェアだけを使うもの、ハードウェアの共用をベースにしたものなど、いくつかの選択肢がある。

実際に払う費用が最も安いのは、簡単な A/B 切り替え器である。名前からもわかるように、この装置は、多極スイッチを組み込んだ箱のようなもので、スイッチを切り換えるだけで、プリンタケーブルの 25 個ある接点を 1 つのパーソナルコンピュータからほかのパーソナルコンピュータへとつなぎ換えることができる。たとえば、Aの位置で自分のコンピュータがプリンタへ接続されていれば、Bの位置で同僚のパーソナルコンピュータを接続することができるわけだ。これはスイッチという利器を使って、プリンタケーブルをつなぎ換えるのとまったく同じことをやっているのである。

本物の共用システムになると、自動操作によって、切り替えはこれよりも大幅に便利になる。様々な技術の中で概して一番費用のかからない方法が、ソフトウェアプリンタシェアリングである。ほとんどのゼロスロット LAN にはプリンタを共用するための機能があり、シリアルポートを使用したネットワークとして数台のパーソナルコンピュータを接続することができる。この場合にかかる費用といえば、ソフトウェア代と、システムを接続するケーブル代(比較的安価)だけである。

しかし、これにはお金以外のコストもある。プリンタサーバーの性能に影響が出てしまうのだ。プリンタに接続されたパーソナルコンピュータは、印刷ジョブをスプールし、プリンタを制御するために、どうしてもいくばくかの時間をさかなければならないため、結果として性能がかなり損なわれるのである。オフィスのコーヒーメーカーのコーヒーのでき具合いを調べることが仕事のほとんどだという人でもない限り、このような性能のパーソナルコンピュータを、自分の毎日の仕事に使いたいと思う人は職場にいそうもない。

ハードウェアプリンタシェアリングは、スプーリング作業用としてソフトウェアの代わりに専用

ボックスを使用することによって、この問題を回避したものである。各パーソナルコンピュータを共用ボックスに接続し、そのボックスを直接プリンタに接続する。このシステムの短所は、単純にハードウェアの追加に費用がかかるということだけである。

プリンタの共用装置はすべて同じというわけではない。利用できるメモリの容量やアービトレーション (調停)システムに違いがある。メモリは、1台のパーソナルコンピュータが印刷をしている最中でも、ほかのパーソナルコンピュータもプリンタを駆動しているかのごとく印刷の命令を送り続けられるように、印刷ジョブをバッファするために使用される。これがあれば、プリンタのアクセスを待ってプログラムが無駄な時間を費やすことがない。一般に、メモリはたくさんあればあるほど良いが、オフィスをWindowsやUNIXや、そのほかプリントスプーラが組み込まれたソフトウェア環境で標準化する場合は、たくさんのメモリは必要ないだろう。現在のようなグラフィック印刷を行うには少なくとも1Mバイトは欲しい。

アービトレーションシステムは、2 台以上のパーソナルコンピュータが同時に印刷を開始しようとしているときに、どのパーソナルコンピュータが優先権を持っているかを決定するものである。最もすぐれた共用システムになると、必要性の度合いと会社の組織構成に基づいて、優先権を各パーソナルコンピュータに割り当てることができる。より柔軟性のある共用装置を使用した印刷システム全体を管理するには、制御ソフトを使用した方がよいだろう。

また、共用装置は、利用できるポートの数や種類についても違いがある。実際には、接続したいパーソナルコンピュータの数だけポートが必要となる。パーソナルコンピュータの設置場所が、共用装置から少し距離がある(普通10~25フィート以上)場合には、簡単に接続できるようにシリアルポート以外にパラレルポートが必要になる。

プリンタ共用装置の中には、プリンタの I/O スロットに接続して使用するものがある。この装置では、サイズ上の制約から使用できるポートの数が制限されるが、同時にケースや電源が余分に要

らないため、費用も最小限に抑えられる。少数ではあるが、複数の入力ポートやネットワーク用入力ポートを内蔵して、共用が可能な設計になっているプリンタもある。

レーザープリンタやサーマルワックスプリンタのように、プリンタが高価になると、共用する方が、各人用に別々のプリンタを購入するよりも経済的である。高いプリンタが1日の大半を遊んでいるのに、ほかの人には安いプリンタを与えて苦労させるよりも賢明な選択であろう。

プリンタの購入

お菓子屋にいる子供に何が欲しいかと尋ねれば、どの子もずばり全部と答えるだろう。そして、何百とあるプリンタの中から1つを選ばなければならないとき、だれもがその子供と同じような気持ちになるだろう。どのプリンタにも速度、カラー、印字の品質、価格など捨て難い魅力があるのだ。選択肢をしぼりこんで、いよいよ最適な1つを選ぶときには、眼をつぶって指を差して決めてしまいたい誘惑にかられるだろう。

実際は、自分のニーズと自分が買える範囲のプリンタの能力とを整然と検討すれば、正しい選択をすることは難しいことではない。以下に述べるプリンタ購入にあたっての検討事項は、適切なプリンタと適切な販売業者を選択する助けとなろう。

互換性

まず最初に、自分が持っているソフトウェアと 互換性のあるプリンタのリストを作成すること。 安価なプリンタには心をそそられるが、自分のソフトで動かなければ何の価値もない。買物を始め る前に、少なくとも使用を検討すべきプリンタの リストを作成しておくとよい。

最もよく使用するソフトウェアの説明書を見て、そのソフトがサポートしているプリンタのリストを確認する。資料が見つからなければ、プログラムのインストール作業をやって、選択しなければならないプリンタのリストをコピーすればよい。購入時には、購入を考えているプリンタがそのリストに載っているか、あるいはリストに載っているプリンタをエミュレートできるかという点を確

認すること。

速度

購入しようとしているプリンタの速度が、自分の要求を満たしているかを確認する必要がある。 ほかの条件がすべて同じであれば、まさに仕事が 速いという点で、高速なもののほうが望ましい。 プリンタの速度定格は、嫌になるほど遅いものか ら我慢できる程度(未だかつて十分な速度のプリ ンタはない)のものまで広範であるが、技術や価 格を一定の範囲に限定すると、競合する機種には これといった差がなくなっていくことが分かるだ ろう。それでも、速度は大きな決定要素である。

メーカーの設定している速度定格は、試験によるものではなく、論理的に決定されたものだということを覚えておいてほしい。レーザープリンタやそのほかのページプリンタの仕様となっている "テキストスピード"(1分当たりのページ数)は、おおむね現実に即したものだが、グラフィックスピードになると実際はかなり遅くなる。ドットマトリックスプリンタなどのキャラクタプリンタやラインプリンタは、通常のページ書式で実際に印刷の作業を行うと、実際にはメーカーの数字よりも25~50%遅いことが多い。

用紙の処理

ほとんどのプリンタ(ラベル作成といった特定用途に特化したものは除く)は、標準サイズの8.5×11インチの用紙を、また、スプロケットフィード用の用紙を使用しているプリンタの場合は、9.5×11インチの用紙を使用するようになっている。これらとは異なるサイズの書類を印刷する必要がある場合は、購入を検討しているプリンタがそのサイズの用紙を扱えるかということを確かめる必要がある。いずれのプリンタでも使用できる用紙のサイズには上限がある。トラクタフィードのプリンタの多くは、扱える用紙幅の最小サイズにも制限がある。同様に、レーザープリンタにも使用する用紙に特定のサイズ規定がある。11×14インチのプリントアウトが必要であれば、ワイドキャリジのプリンタが必要になる。

用途によっては、普通の紙以外にも、様々な書

式の専用用紙、封筒、OHP用のアセテートフィルムなどの印刷媒体が必要な場合が出てくる。したがって、検討しているプリンタが、印刷の媒体として自分が使用したいものを扱えるか確認すること。

また、プリンタが扱える用紙の量も重要なポイントである。インパクトプリンタの隣に座ってうるさい音を聞いたり、プリンタの子守りなどはしなくてすむにこしたことはない。

トラクタフィードプリンタの場合は、通常、挿入できる大きさの用紙であれば分量には制限はないが、購入したときにトラクタが実際に付いてくるかは確認しなければならない。古いタイプではトラクタ部分はオプションのものがあるからだ。

ビンフィード(カットシートフィーダ)、レーザー、サーマルワックス、ダイディフュージョン、これらのプリンタは、すべて単票の用紙を使用するものである。用紙をプリンタに供給したり、プリンタから用紙を取り除いたりしなければならなくなるまでに、どのくらいの時間がかかるかを判断するのに、これらのプリンタの用紙補給用の容器(トレイ、カセット)と、印刷された用紙を受ける容器の、容量および処理速度を検討する必要がある。

消耗品

購入時に必要な消耗品が付属されているか確認する。ほとんどのプリンタには、限られた量ではあるが、消耗品(リボンや専用用紙)が付いてくるので、購入後すぐに試し印刷はできる。普通の用紙を使用するプリンタについては、ほとんどの場合、消耗品の追加購入を考える必要が出てくるのは、数百から数千ページ印刷してからのことになるだろう。

ただし、レーザープリンタの場合は状況は異なる。販売業者の中には、必要なトナーカートリッジをオプションとすることで、レーザープリンタ本体の実売価格を下げているところもあるからだ。単に試し印刷をするだけでも、すぐに100ドルのトナーカートリッジを購入しなければならない。

新しいプリンタを注文するときは、カートリッジやそのほか必要な消耗品も一緒に入手できるように手配する。レーザープリンタがカートリッジ

なしで売り出されている場合には、値段を比較する際にカートリッジ代を加えることを忘れてはいけない。

ケーブル

ケーブルの用意を忘れてはいけない。プリンタをパーソナルコンピュータに接続するにはケーブルが必要である。ごく少数だが、IBMの規格に適合しない特殊なケーブル規格を持ったプリンタもある(旧式のものか、生産中止になっている機種がほとんど)。購入するプリンタに、IBM規格のプリンタケーブルが適合するかどうかを確認しなければならない。もし適合しなければ、販売業者に依頼してプリンタに合うケーブルを取り寄せる必要がある。

たとえ購入するプリンタが、IBM 規格のコネクタ (片側にオスの 25 ピン Dsub コネクタ、反対側にオスのセントロニクス対応 36 ピンコネクタが付いたケーブル)を使用していても、プリンタと一緒にそのケーブルを送ってもらうのを忘れてはならない。新しいプリンタがあっても、それをパーソナルコンピュータに接続するケーブルがなくては話にならない。

サポート

これからプリンタを購入しようとしている人は、 サポート体制を確認すること。購入後、その新し いプリンタで二重下線付け、ボールドフェイス、 イタリック体を印字する必要が出きた場合に、ど うすればワードプロセッサをうまく使いこなせる かわからないこともあるだろう。そういうときに、 助けを求められるサポートが必要である。新しく、 まだまだ珍しいプリンタの技術については、おそ らく販売業者でも購入する側と変わらない程度の 経験や知識しかないこともあるだろう。したがっ て、プリンタメーカーの電話によるサポートサー ビスが一番望ましい。その場合は、"フリーダイヤ ル"がベストである(利用者の立場からは、50ドル 分の仕事でプリンタを動かすのに20ドルの電話 代をかけるのはばかばかしい)。プリンタ販売業 者の中には、モデム経由で質問を受け付ける BBS を開設しいているところもある。

また、販売業者のサービス方針を調べておいた 方がよい。プリンタはエレクトロメカニカル(電 子機械式)装置である。ということは、電子部品 と機械部品の双方がともに故障する可能性がある ということだ。したがって、プリンタはほかのど のパーソナルコンピュータ周辺機器よりも、アフ ターサービスが重要である。保証期間中並びに保 証が切れた後に、どこで、どのようにすればプリ ンタのアフターサービスが受けられるかを、購入 前に確認しておく必要がある。プリンタの修理体 制があまり整備されていない販売業者も多数ある ので注意すること。

一部のメーカーは、故障を修理するサービス拠点(ときにはタイプライタ販売店のこともある)を各地に置いているので、その場合はわざわざプリンタをメーカーまで送り返す必要がない。高価なプリンタなら、現場での修理が受けられて当然である。

保証

どのプリンタにも保証書が付いているが、すべての保証書がすべてを保証しているわけではないので、保証書の条件を確認すること。ユーザ側が取り替える部品は保証対象から除外している保証書もある。どのメーカーにしても、消耗品のリボンまで保証する必要はないので、そういうものについては合理的だが、プリントへッドの方は保証の対象とされるべきである。ほかの周辺機器と違って、プリンタには、ドライブベルトやプリントへッドなど、摩耗する部品が組み込まれていることに注意する。

販売業者とメーカーの双方が保証書を出すことがあるが、在庫処分のような安売り品の場合は、後者の保証書はついてこない場合もある。誰がプリンタを売るにせよ、その売主がその製品を保証していることを確認すべきである。

16.10 プロッタ

細かい曲線模様を織り込んだペーズリー柄の壁 紙を登っているカメレオンの色が、次々と変化し ていくように、技術が急速に変化していく世界に あって、変化に動じないプロッタの頑固さは、グ レートストーンフェースや小舅の悪癖のようだ。 10年も経たないうちに、マイクロプロセッサは20 倍の速度で疾走するに至り、プリンタはハンマー からレーザーへと変わり、ハードディスクは5M バイトから 500M バイトへと成長した。これに対 してプロッタはというと、タイムトンネルに足を 踏み入れ、10年逆戻りをしているような状態であ る。たとえば、現在の最新のデスクトッププロッ タを10年前の人に見せたとしても、10年前の誰 一人として、これを10年先の世界からタイムトラ ベルして持ってきたとは信じないだろう。プロッ 夕は今日も昨日も同じような外観をして、同じよ うに動作し、ほとんど同じ印刷結果を産み出して いるのである。

だが、プロッタの話はこれで終わるわけではない。電子工学的にも根本原理においても微妙な変化はあるのだ。しかし重要なのは、各方面から現われる新しい競争相手の一斉攻撃にもかかわらず、現在のデスクトッププロッタは昔と変わらず今も同じように便利だということである。

現在のデスクトッププロッタは、パーソナルコンピュータに連結できるハードコピー作成装置の中で、最も解像度が高く、一般に 1/1000 インチでアドレス可能である。この高い解像度により、ぎざぎざした跡を残さずになだらかな曲線や斜線を引くことができる。グラフィック出力装置としてこれしかなくても、その役割を十分果たすだけの速度があり、ドラフトしか必要ない場合は、大型プロッタの負荷を軽減するためにワークステーションに接続する装置としても、十分に安いものである。

この2、3年の間にデスクトッププロッタに加え

られた巧みな変更によって、この装置は入手が容易になり、遣い勝手が一層良くなり、ソフトウェアとの互換性も高まった。プロッタの働きは昔と変わらず、製図媒体の上を走り回るインクペンの動きを制御しているだけだが、実はプロッタも、そしてそのメーカーも頭がよくなってきているのだ。

現在のプロッタのほとんどは、マイクロプロセッサをベースにしている。ペンを動かす命令を受け取ると、最も頭のよいプロッタは、時間の浪費を最小限に抑えるために、ペンの動程と選択とを最適化して、その命令をできるだけ効率よく処理する。メーカーはこのプロッタを制御する言語があることを知り、標準言語として採用した。

現在入手できるプロッタのほとんどは、Hewrett ーPackard のプロッタ言語である「HPーGL」のコマンドを認識するように設計されている。さらにメーカーは、パーソナルコンピュータや最も広く使われているソフトウェアを使って、プロッタを動かすためのセットアップの詳細を文書にして提供している。ケーブルの正しい接続の仕方や正しいセットアップパラメータを見つけるために、もはや夜ふかしをする必要はないのである。

プロッタの設計

プロッタ技術そのものは変化がなく、2つの系統に分類される。1つは平面プロッタ、すなわち、X-Yプロッタであり、もうひとつはローラーベッドプロッタ、すなわち、ドラム式プロッタである。両者の違いは何が動くのかという点である。平面プロッタは、魔法の手のようなものが動く。製図をする平面("ベッド"または"フラットベッド")に製図用紙を固定すると、ちょうど手で絵を描くのと同じように、ペンが用紙上を二次元("X 軸"と"Y 軸")に移動する。

ローラーベッドプロッタは、ペンの移動を一次元に、すなわち、製図媒体の水平方向に限定し、用紙の方が垂直の動きを担当するものである。つまり、たとえばペンの動きに対して垂直の線を引く場合は、ペンを固定したまま用紙の方が動く。ベッドの『ローラー』はシリンダまたはドラムで、用紙の下で回転して用紙を動かしている。

どちらの技術も一方に完全に優っているわけで

はない。精度が問題になるときは、平面式の設計のほうが安価という点で優位となる。精度の高いフラットベッドを組み立てる方が基本的には費用がかからない。これは、制御が必要なのは1つの機構、すなわち、ペンを移動させる機構だけだからである。ローラーベッド式の場合は、1つはペン用、もう1つは用紙用というように、根本的に異なる別個の2つのシステムを調整して動作させる必要がある。このように複雑さが増せばその分価格は上昇する。ただし、価格を解像度に優先させた場合、平面プロッタは安価に押さえるために、ミリインチの精度を犠牲にしていることがある。

他方、ローラーベッドプロッタにはスピード面での強みがある。機械式で大きく動くアームやペンキャリッジに比べて用紙は非常に軽い。ニュートンの第2法則(大学1年生の物理学の復習が必要な人のために:F=ma、力は質量と加速度の積に等しい)によれば、物体は軽い方が加速するための仕事量は少なくてすむ。したがって、高速なプロッタほどローラーベッド式を採用しているのは当然のことである。

平面プロッタの長所は、事実上どんなサイズの製図用紙でも使用できることである。ローラーベッドプロッタ(ドラムプロッタ)の場合はほとんど、製図用紙の横幅の選択肢が制限されてしまう。用紙を両端だけつかみ、しかも設計上の理由からペーパーグリッパ間の距離が固定されているからである。その固定距離よりも製図用紙の幅がせまいと、用紙をきちんとプロッタに留めることができなくなる。これに対し、このプロッタのメーカーの1つである Hitachi からは、はがきサイズ以上であればどんな横幅の用紙でもつかめる全幅対応のドラムを使ったローラーベッドプロッタが販売されている。

しかし、平面プロッタを使えば、最小サイズの限界にぶつかることはない。つまるところ、フラットベッドは自動アーム付きの製図テーブルであり、ソフトウェアの適切な命令があれば、テーブルの上にのるものならどんなサイズの用紙にでも図が描けるのである。

プロッタには、机の上に置いてちょうどよい大きさのものから、壁紙よりも大きな用紙を使う機

種まで様々ある。最も一般的なのは、使用する最大用紙サイズが ANSI (米国規格協会) B サイズ、すなわち、 11×17 インチの機種である。

製図テーブルの場合と同様に、平面プロッタは 用紙を製図面にしっかりと留める何らかの手段が 必要である。普通の製図用テープでも間に合うか もしれないが、エレガントな解決法とはいえない。 プロッタメーカーはこの粘着テープの代わりにな るいくつかの方法を採用してきた。製図用紙をお さえておくのに、静電気の魔術を利用しているメー カーもあり、この固定方法は2、3の媒体を除けば すべてに有効である。また、あるメーカーは電気 に代えて磁石を使って製図用紙をおさえているが、 これは薄い鉄板以外であればどんな媒体にも使え る方法である。

品質の問題

安価なプロッタと高価なプロッタとの最も大きな違いは精度である。高性能なプロッタとは解像 度が高いか、ステップサイズが小さいものである。

ステップサイズは多くの要素によって制限され る。最終的な限界はプロッタの機構上の解像度、 つまり、ペンを動かすステップモータの避けられ ない動きの粗さの制約のもとで、ハードウェアが 成しうる最小の細かな動きである。すべてではな いがほとんどの場合、ステップサイズはアドレス 可能度によっても制限される。HP-GL がプロッ タペンを動かせる最小単位は 0.001 (1000 分の 1) インチである。最も安い価格帯のプロッタの機構 上の解像度は、HP-GL のアドレス限界よりも粗 いことが多く、この場合、機構そのものが品質を 制限することになる。ステップサイズが細かくな ればなるほど、プロッタはそれだけきれいな曲線 を描くことができる。1ステップごとにドットを 直角に打ち付けながら、斜線や曲線を描いていく のだが、HP-GLの 0.001 インチという解像度で これを行うと、1ステップはレーザープリンタの ドットサイズの3分の1以下になり、非常に微細 で、実際には目に見えない大きさである。しかし、 安価なプロッタになると、各ステップがはっきり と見え、その結果"ギザギザ"と呼ばれる状態の線 になる。

プロッタのカラー

また、デスクトッププロッタは、自動的に選択できるペンの数にも違いがある。カラーの表現能力とプロッタの使えるペンの数との間には、おおよその相対関係があるが、ペンが1本しか使えない装置でも、多色の図面を作成することは可能である。ほとんどのプロッタでは、作業を休止してペンを交換できるので、出力する色を手動で制御できるのだ。いいかえれば、ペンが4本のプロッタは必ずしも4色に限定されるわではないということになる。取り換えられるペンの色の数だけ色を変えて図面が作成できるわけだ。いくつペンを使うかは便宜上の問題にすぎない。

しかし、多くのペンが使えれば、プロッタに自動彩色させることができる。これができると、作図を開始してしまえば、後はコーヒーポットを空にするまでおしゃべりをして時間を過ごすこともできる。プロッタを監視し、ペンを交換する時間を待っている必要はない。

単に数だけでなく、プロッタに装着できるペンの種類も選択もできる。どれを使うかは作成しようとしている出力の種類による。紙とフィルムの図面であれば、異なる種類のインク、それに恐らく異なる種類のペンも必要だろう。インクを補充できるペンを発売しているメーカーもあり、これらを使えば、インクが切れたときにも新品購入のためにばかにならない額を出費せずに、製図ペンに要求される高い品質(より細く、かつ線の太さを一定に保つもの)が再び手に入れられる。

ペンが選択できる立場にあれば、その選択の幅を最大にするために、最も広く使用されているものを選びたいと思うだろう。プロッタペンで標準タイプに最も近いのは、Hewlett-Packardのプロッタに採用されており、ほかのメーカー数社もそれに準拠している設計である。ほかの製品と同様に、1機種専用のペンだと、選択の幅が制限され、高い代金を支払わなければならない場合も出てくる。

インターフェイス

プロッタにとって互換性は大きな問題である。 伝統的にプロッタメーカーはこの製品をプロ向け のツールとみなしてきた。これは、プロッタはひとりよがりなエンジニアには相応の報いを受けさせるような設計になっていたということである。このため、最低でも、自分のプリンタに合った特別なケーブルを作ってもらう必要があった。

しかし、そうした欲求不満の大方は過去のものになっている。現在の標準的なプロッタには、セントロニクス仕様のパラレルポートが付いており、ドットマトリックスプリンタと同様に簡単に接続することができる。

今なお RS-232 のシリアルコネクションに依存している機種がいくつかあるが、そのほかの機種ではこのコネクタはオプションになっている(本書で検討しているプロッタはすべて、実際の性能を通信に関する事項から隔離して測定できるように、9,600bps のシリアル転送を使用してテストした)。シリアル接続をしようというのであれば、その特定のプロッタの要件に合わせて作ったプロッタメーカー独自のシリアルケーブルを購入すべきである。50 ドル程度払うだけで、シリアル接続をすれば、通常行き着く先である、抗鬱剤ソラジンの服用や拘束服の着用をせずに済むのである。

すでに RS-232 のシリアル接続を使用している周辺機器を持っている人以外は、いくつかのプロッタで使用可能になっている IEEE-488 コネクタ (汎用インターフェイスバス:GPIB、または、Hewlett-Packard インターフェイスバス:HP-IB という名称でも知られている) の費用のことや、面倒な作業のことや、それを使うのに必要な特別なソフトウェアドライバのことなどに煩わされたくないだろう。

制御言語

今夜就寝前のお祈りをするときは、HP-GLの 奇跡を与えてくれた人に感謝すべきだ。プロッタ メーカーのほとんどが、自社の製品の制御用に Hewrett-Packard グラフィック言語 (HP-GL) を採用しているため、米国では HP-GL が標準 言語となっている (HP-GL は世界中で使用され ているが、GP-GL の方が広く使用されている市 場も一部ある)。HP-GL に代わるものとしては、 Houston Instrument が開発したデジタルマイク ロプロセッサプロッタ言語 (DMPL) がある。この言語には、内蔵フォント、単一コマンドで線で囲まれた領域を塗りつぶす機能、プロッタを円滑に動かすアルゴリズムの内蔵といった、HP-GLにはない機能がいくつか組み込まれている。そのほかのプロッタは独自の言語を使用しており、それをサポートするプログラムを使えば、しばしば HP-GL よりも速く動くこともある。しかし、HP-GL を理解するプロッタは、プロッタ出力用のプログラムであれば、まずどんなプログラムででも動作する点で有効である。

性能

プリンタと同様に、ほとんどのプロッタは製図 命令を一時的に記憶しておくための RAM を内蔵 している。このバッファメモリは、コンピュータを 製図作業から解放する助けとなる。容量の大きな バッファであれば、パーソナルコンピュータから 転送した命令のすべて、あるいはそのほとんどを 吸収し、コンピュータには何か別の作業をやらせ ながら、その間にプロッタがそれらの命令を処理 することが可能となる。プロッタの中にはさらに バッファを利用して、製図の命令の先を見て、た とえば赤色のペンに切り換える前にまず黒色の線 をすべて描くというように、ペンの移動やペンの 切り換えを最小限に押さえる計算、つまり最適化 を行う機種もある。こうした最適化により、図面 作成に必要な時間をかなり削減することが可能と なる。また、バッファに記憶させておけば、パー ソナルコンピュータを製図作業に縛りつけておか なくても、図面のコピーを何枚も作成することも できる。プロッタの速度は機種により劇的な違い となって現れることがある。実際、製図時間が他 機種の半分というプロッタさえある。

最低価格帯の機種を除き、出力の品質は各プロッタとも大きな差異はない。ただし、テキスト表現については、プロッタの HP-GL の解釈の仕方と内部の文字セットの特性に依存する。

プロッタの代用品

言葉、音楽、お金が電子工学によって電信線の 中を光速で疾走する今日にあって、ペンを用紙に あてて線を引くというのは、暖炉で火を燃やしたり、代金を現金を支払ったりするのと同じように時代遅れのように思われる。ほかの技術を使用すれば、もっと高速に、色彩も豊富に、そして安い価格で製図作業を行えるのである。それでもなお、プロッタはいくつかの理由で生き残っている。

高速のグラフィックス出力ということになると、 レーザープリンタに匹敵するものはない。典型的 なグラフィックページであれば、1枚出力するの に1分もかからないだろう。これに対しプロッタ は、同じ作業を5分も10分もかけてもがいてい る。ただし、レーザープリンタのほとんどは(しか も値段が手頃な機種はすべて)単色で、印刷媒体は ANSI の A サイズ (8.5×11 インチ) 以下のものに 限定されている。ところがプロッタは、ペンにあ る色であればどんな色でも使用することができ、 しかも(手動によるペンの交換を厭わない限り)ほ ぼ無制限に色を組み合わせることもできる。さら に、デスクトッププロッタは最も小型の機種でも 最大Bサイズまでの用紙を処理できる。その上、 製図に使用する媒体をほとんど選ばない。適切な ペンを選んでやるだけで、後は紙であろうと、べ ラム(子牛の皮紙)であろうと、ベッドに置けるも のであれば何にでも喜んでインクで描いてくれる のである。

カラーのインクジェットプリンタとの比較についても、ほぼ同じことがいえる。低価格帯のインクジェットプリンタは、サイズの大きな用紙は処理できない。Bサイズの用紙を受け付ける機種になると、多くの場合、同等のプロッタよりも価格が高い。しかし、インクジェットプリンタの場合、インクを用紙上で混ぜ合わせて、表現できる色の範囲を拡大することができる。人間が直接手で調整できるわけではないが、1つの色合いからほかの色合いへと微妙に変化させることにより、一層自然な風合いを表現することもできるのである。

精度ということになると、プロッタはほとんどすべてのプリンタより優れている。プロッタのほとんどが約1/1000インチのステップで動き、ドットは典型的なレーザープリンタの300dpiより3倍以上の細かさとなっている。この並外れた解像度を曲線を描くのに利用しているので、そこからは

ギザギザした跡がまったく消え去っている。

しかし、極めて細かい描写ということになると、レーザープリンタの方がリードしている。プロッタは高解像度のおかげで、ほとんど完全なまでになだらかな斜線を描くことができるが、作成可能な最も微小な部分は、そのペンが描く線の幅に制限されている。一般に、製図用のインクが使用できるペンで最も細いものでも、描ける線の幅は0.3 mmで、これはプロッタの解像度の幅、つまりそのステップサイズの約12倍であり、最も細いレーザープリンタの線の幅の約4倍である。

一方、レーザープリンタやインクジェットによるディジタルドットなどと比べれば(インパクトドットマトリックスプリンタの点描画はいうまでもなく)、プロッタは一様で濃淡のないカラーを描くことができる。プロッタのカラーは混ざりけがなく、一様な色調である。

プリンタとプロッタでは描画技術が異なるため、 両者の速度を直接比較するのは不可能である。プ リンタはラスタに基づいた装置だが、プロッタは ベクトルを描くものである。したがって、どちら が速いかということは、何を描かせるかによって 変わってくる。

プロッタは簡単な図であればきわめて高速に作業を行うことができるが、2、3本の線では済まない複雑なイメージになると、時間がかかるようになる。他方、ドットアドレスのプリンタ (PostScriptのような言語を使用しない機種)は、簡単な図でも複雑な図でも、費やす時間はほぼ同じである。これは、1ページにどれだけの行を描かねばならないとしても、行数には関係なく、ページ全体を走査しなければならないためである (PostScriptプリンタの場合は、転送時間と処理時間を加えなければならないため、複雑な図になればなるほど若干時間も長くなる)。

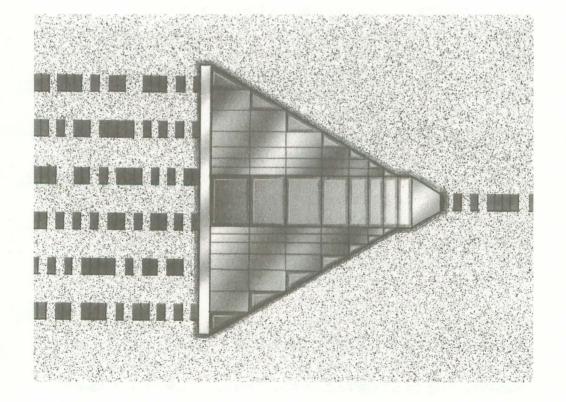
最終的には次のようにまとめられるだろう。プロッタは値段は手頃で、カラーは綺麗で、精度は高いが、速度が遅い。手の出せる価格のレーザープリンタの場合、速度はプロッタよりも速いが、プロッタのカラー表現能力や1/1000インチといった解像度には及ばない。カラーのレーザープリンタは速度は速いが、値段が高く、鮮明度もプロッ

タほどではない。カラーのインクジェットプリンタでは、様々な色合いが表現でき、速度もほどほど、 価格もプロッタと似たりよったりであるが、なだらかで、詳細な描画を必要とする図面を作成する 能力に欠ける。アプリケーションの種類によっては、プロッタが最も満足できる結果をもたらすことに変わりはないようだ。

を、 では、日本では、日本では、日本では、日本では、日本では、日本では、日本ので

第一7章

シリアルポート



シリアルポートは、コンピュータ通信の最大公約数的存在である。最も初歩的なパーソナルコンピュータや周辺装置でさえ、シリアル接続を装備している。ただし、シリアル通信は素晴らしいものであると同時に怪物でもある。大半の製品は唯一の業界規格に従っており、これから少しでもずれると、強情なシリアルポートを動作させるために不眠不休で格闘しなければならなくなる。この混乱を避けるためには、シリアルポートの動作方法、およびその信号の意味を理解することがポイントになる。

一般に、パーソナルコンピュータの性質は、ゴシップがあっという間に広まる世界に似ている。この世界では、パーソナルコンピュータは、話すことがたくさんあるのに話す時間がなくて、話せずに残った言葉で今にも頭が破裂しそうな、おしゃべりな隣人のようなものだ。話せずに残った言葉はすぐに蓄積してしまう。一般のパーソナルコンピュータは毎秒数百万パイトの速度でデータを処理できるが、外部世界に対して持っている唯一の本格的な汎用双方向アクセスは、毎秒数千パイトの速度でデータを交換することで精一杯のシリアルポートでしかない。長年、初期の PC から PS/2の最初のリリースに至るまで、標準のシリアルポートは、IBM がパーソナルコンピュータに対して公式に認可した唯一の双方向通信チャネルであった。現在でも、シリアルポートが唯一の汎用通信チャネルである。

このシリアルポートに対して、IBM が公式に使っている用語は**非同期データ通信ポート**であるが、しばしばこれは**非同期ポート**または**通信ポート**と縮めた形で使われている。さらに、パーソナルコンピュータ業界に受け入れられている各種のシリアル接続が、「RS-232C」と呼ばれる規格 (米国電子工業会 EIA が策定した規格) で動作するため、一般的なシリアルポートはしばしば RS-232 ポートとして仕様書の中に記述されている。

名前はなんであれ、IBM のすべてのシリアルポートは、少なくとも機能的には同じである。シリアルポートは、コンピュータがデータバスを介して交換する 8 ビット、16 ビットまたは32 ビットのパラレルビットを横向きに並べる。つまり、デジタルパルスの側面から、1 つのファイルをすべてパルスの並びに変換するのである。この形式の通信は、情報の1 ビットずつが数珠つなぎになって転送されることから、シリアル通信という名前が付けられている。

完全な世界では、単一回路 (信号線および接地線の 2 本のワイヤのみ) が、このシリアル信号をある場所から別の場所に転送するのに必要なすべてである。もちろん、完全な世界には、データを先導し、シリアル伝送の非凡な純粋性を侵そうと狙っている悪魔やエネルギーからデータを保護する妖精や善意が存在する。

しかし、この世界は不幸にも完全な世界ではない。そしてコンピュータの世界もその例外ではない。干渉されやすいシリアルデータが接続を通過するときに、多くの不幸が襲いかかる危険性があるのだ。たとえば、1 バイトのデータの中の 1 ビットが本道をそれて、データが出発時点より小さくなって到着することがある。これはアルコールをアルコール中毒患者に運ばせるようなものだ。このようにしてデータストリームに空きができると、ほかのすべてのビットがずれるため、別の値として認識されることになる。あるいは逆に、電子的な慈愛の精神でもって、子供が仔猫を拾うように、有意の信号がさ迷うビットを身に帯びてしまうと、含蓄深い奇跡が生じたり、通信路全体を揺るがすようなエラーが生じたりして、すべてのビットが悪影響を受ける。いずれの場合であっても結果はエラーの発生である。この初

歩的な形式のシリアル通信では、ビットが1つでも間違うと、これに後続するすべてのビットがエラーになるのである。

信頼性の高いシリアル通信を実現するということは、ビットエラーなどの多くの問題を克服することにほかならない。しかし、いくつかのデジタル技術のおかげで、シリアル通信は、ユーザーとそのパーソナルコンピュータが信頼できるに足る良好な動作が可能になっている。

17.1 同期通信と非同期通信

シリアル通信のビットエラーの発生を回避する ために、おもに2つのシリアル伝送方式が採用さ れている。これらの方式の1つでは、送受信シス テムは、接続の両端が常に歩調をそろえるように、 一種の補助信号を使って同期をとる。送受信ユニッ ト間で同期をとっているクロックによって、ひと つひとつのデータを分ける期間が正確に指定され る。ビットが欠落したり余っても、そのビットは ストリーム中の予期しない位置に現れるため、速 やかに検出することができる。これは、空港に到 着するすべてのシャトル便を時間によって特定す る仕組みに似ている。この場合、予定外の時間に 着陸する航空機は、シャトル便ではないと合理的 に想定することができる(シャトル便は到着時間 が正確であるものとの仮定による。これはもちろ ん完全な世界でのみ可能)。時計をチェックするだ けで、シャトル便をほかの航空機から区別できる わけだ。コンピュータ通信でこの仕組みを応用す れば、データとノイズとを区別することができる。 この同期方式のシリアル伝送は同期通信と呼ばれ、 おもにメインフレームシステムに採用されている 技法である。

この同期方式は、送受信システムが相互の信号 同期を失うと停止する。この場合には、データス トリームはほとんどノイズになってしまう。

これに代わる方法として、ビットストリームに 位置マーカーを付加して、各データビットの追跡 を助ける方法がある。たとえば、1つのマーカーを 1つのビットに割り当てると、そのビットの位置 を表わし、同時に、マーカーの付いていないビットはエラーと見なすことができる。もちろん、このような単純な方式では、伝送するすべての情報 ビットに対して2つのデジタル信号(マーカーおよびデータビット)が必要となるため、大変な無駄が伴う。

より現実的なのは、これに妥協を加えたシステムである。マーカーを、各ビットを表わす代わりに、短いビットストリームの先頭を表わすのに使

用するのである。その場合、このストリームの中の個別ビットの位置は、一定の区間でタイミングをとることで定義することができる。この方式は同期伝送に似ているが、送受信システムは、マーカー間の短い区間を除けば同期化される必要がない。マーカーの到着によって、受信システムはビット探索および短期タイマの実行を開始する。送受信のタイマが同期からずれるという問題は、マーカーごとにクロックを再始動することによって回避できる。マーカー間の期間を短く維持することによって、タイマが大きくずれる可能性はなくなる。

この短期的にタイミングをとるシステムは、送受信システムが正確に相手と同期をとる必要がないことから、一般に非同期通信と呼ばれる。マーカービットによって、それに続く短いデータビットのストリームを区別するために必要な、一時的な同期が行われるのである。大半のパーソナルコンピュータのシリアル通信は、この方式を採用している。ほとんどの非同期方式では、データは1バイト程度の小部分に分割される。これらの塊はワードと呼ばれ、5~8個のデータビットで構成されている。最も広く採用されているワード長は7ビットと8ビットである。これは、7ビットはASCIIコードの大小文字がすべて収容でき、8ビットなら各ワードが正確に1バイトのデータに対応するためである。

ワードの各ビットは、シリアルデータとして、1 ビットずつ通信チャネルによって伝送される。慣 習的に、ワードは下位のビットから先に送り出される。

これらのデータビットに、スタートビットと呼ばれる通常の2倍の長さの特殊なパルスが付加される。これはデータワードの開始を表わすものだ。また、このワードの終了を表わすために、1つ以上のストップビットが付加される。ワードの最終ビットとストップビットの間に、パリティビットがデータの完全性のチェックのために挿入される場合がある。このように、データビット、スター

トビット、パリティビット、ストップビットで、1 つのデータフレームが構成される。

パリティビット

シリアル通信では、5種類のパリティビットを利用することができる。その中の2種類が、現実にビットレベルの伝送エラーの検出手段となる。このエラー検出は、データワードのビット数をカウントして、結果が偶数か奇数かを判断するという仕組みで機能する。奇数パリティでは、ワードのビット数が奇数のときに、パリティビットがオン(論理1)に設定される。同様に、偶数パリティでは、ワードのビット数が偶数のときに、パリティビットがオンに設定される。

マークパリティでは、パリティビットは、ワードのビット数に関係なく常にオンとされ、スペースパリティでは、パリティビットは常にオフとされる。パリティなしは、フレームがパリティビットを含まないことを意味する。この場合、1ビットのデータの完全性を断念する代わりに(ほかの手段によって完全性はチェックできる)、一定数の伝送ビットに多くの情報を押し込むことができるため、効率的な通信を行える。

信号極性

RS-232 シリアル信号のすべてのビットは、データライン上に維持されている通常の正電圧に重ねられる負のパルスとして、通信回線に送り出される。つまり、シリアルワードの中にビットが存在すると、連続する正電圧が短い負のパルスによって中断されるのである。

通常の論理方式とは対照的に、RS-232 データは逆になっているように見える。この反転には特別な意味はなく、単に慣習的なものに過ぎないが、通信の分野では、すべての人が同一の規格を順守することによって、物事がうまく運ぶのである。

ビット速度

シリアル信号のもう1つの重要な項目に、シリアルデータ列のビットが伝送されるときの速度が

ある。この標準尺度は驚くほど単純で、1秒に送信されるビット数である。その単位は bps (bit per second) になる。

いくぶん恣意的な理由から、ビット速度は変った増え方をする。通常の最低速度は300 bpsだが、300 の約数である50、100、150 bps の遅い速度も使用できる。これより高速な標準速度は順に倍になるため、600、1,200、2,400、4,800、9,600、19,200bps となる。19,200bps は、PS/2モデル50から80の通常のマイクロプロセッサ制御のシリアルポートに関して、IBM が公式にサポートしている最高速度である。

公式速度がこのように遅いのは、シリアルポートのソフトウェア制御が、システムマイクロプロセッサに負荷をかけるために、低速チップを使用していると、速い伝送速度に対処できないためである。最高速度をすべてのソフトウェアでサポートできるわけではないため、IBMは、高い転送速度を旧式のコンピュータでは認可しないように決めている。

PS/2 モデル90 および95 の発売と同時に、IBM はマイクロプロセッサのオーバヘッドを取り除くことにより、シリアル通信の速度を高める新しい方式のシリアルポート制御を追加した。これらの新機種では、シリアルポートにバスマスタリング DMA 制御を利用することができる。この措置によって、これらのシリアル方式の公式速度は38,400bpsまで引き上げられる。

しかし、これらの公式速度の中の最高速度でさえ、大半のパーソナルコンピュータのシリアルハードウェアの限界には遠く及ばない。実際、現在の多くのソフトウェア製品は、すべての IBM 標準シリアルポート独特のハードウェア設計を利用して、最高で 115,200bps に達する速度でデータを送出する。シリアル通信はもっと高速に行うこともできるが (一部のシステムでは1,000,000~1,000,000,000bps)、これまでの IBMシリアルポート設計では、ほとんどのパーソナルコンピュータハードウェアは 115,200bps の速度に制限されている。

17.2 シリアルハードウェア

大半のIBM 互換機のシリアルポートの中核にある回路は、パラレルバス信号をシリアルパルス列に変換するという特定の役目を持った特殊なチップである。汎用非同期送受信器(UART)と呼ばれるこのチップは、パラレル入力として8本のデータラインを受け取り、完全に構造化されたシリアル出力を提供する。名前からわかるように、UARTは双方向、つまり送信と受信の両方で動作するように設計されている。1つのチップで、通信回線のシリアル信号を、パーソナルコンピュータが望むパラレル信号を、反対にパラレル信号をシリアル信号に変換することができるのである。すべてのシリアルポートは、その中核部にUARTを持っている。シリアルポートを内蔵する内部モデムなどの製品も同様である。

8250

UARTという用語は、集積回路の機能と種類の両方を表わしたものである。したがって、正確には、チップにはメーカーが割り当てたパーツナンバーが付けられている。PC 規格に従った各種のコンピュータには、3種類の UART が採用されている。最も旧式かつ最低速最小のチップは、最初のPCと XT が使用したもので、IBM の非同期通信アダプタカードに搭載されている。「8250」と命名されたこのチップは、IBM 製品を正確に模倣するために、大半のアフターマーケットベンダーが、自社の通信およびマルチファンクションボードに採用している。このチップは、過去に多くの低速内蔵型モデムに使用されており、現在でもときどき使用されることがある

パラレル信号からシリアル信号へ、またはその 逆へ変換するという基本的な機能に加えて、この 8250 UART は、情報の流れおよび転送速度の制 御も行っている。シリアル信号のデータ速度は、 パーソナルコンピュータが提供する 1.8432MHz オシレータクロックを分周して設定されている。 データ速度は、このチップのレジスタの1つにロー ドされた除数によって設定されるのである。同様にして、ワード長、パリティ、およびストップビット数も設定される。また、ほかのレジスタによって、パーソナルコンピュータはチップおよびこのチップが管理している通信の進捗状況をモニタすることができる。

8250 の技術は素晴らしいように思われるが、こ れもすでに陳腐化している。最初の IBM PC が発 売されたパーソナルコンピュータの黎明期におい てさえ、このチップの評価は高くなかった。8250 の問題点は、速度が遅く、AT クラスのコンピュー タの速度には付いていけないことである。しかし ながら、シリアルポート速度を制限する主要因で あった、IBM BIOS を介してアクセスするような ソフトウェアの作成ではなく、プログラマはチッ プのレジスタを直接制御することができるため、 その基本設計は、すべてのパーソナルコンピュー 夕に欠かせないものになっている。結果として、 ソフトウェアの互換性を維持するためには、以降 のすべてのシリアルポートは8250のレジスタ機 能を継承して、バックワードコンパチビリティを 保つ必要があった。

16450

性能の向上を求めて、1984年に「16450 UART」ができた。これは8250の16ビットレジスタ互換の後継チップになる。このチップはこの時点からほとんどのシリアルポートの中核の座におさまった。拡張バスの速度がここ8年間それほど変わっていないため、16450の速度は大半のユーザーにとって十分速かったからである。

16550A

しかし、1987年には、より性能が高い「16550」またはより最新型の「16550A」に移行した。性能に差があるにもかかわらず、これらのすべての最新チップは、コンピュータからは同じように見え、ソフトウェアからの命令に対して同じように動作

する。チップ間の差は、一部のケースにしか認められない。ただし、16550A は特に、性能が低いシステムや、マルチタスキングシステムに高い信頼性をもたらす。

速度以外の開発目標、つまり"マルチタスキング"が 16450 にとっては試練となった。旧式の UART (8250 または 16450) は、1 ワードのデータを通信回線から受信するとき、次のワードを受け取る前にこの情報に一定の処理をしなければならない。大半の通信システムでは、UART はマイクロプロセッサホストに対して割り込み信号を送ってから、このデータワードを転送して、通信に戻るのである。データの送信時にも、同様に 1 ワード単位でしか処理できない。

この過程には致命的な欠点がある。特に問題なのは、UARTが割り込みをかけたときに、マイクロプロセッサが別のタスクを処理している場合である。いったん割り込み信号が送られると、プロセッサは何を行っていても、UARTに対応するためにその作業を停止しなければならない。一方、UARTと通信回線は、割り込みが受け付けられるまで待たされることがあるので、UARTの両端で性能が落ちることになる。V.32bis モデルなどの高速モデムはより高速にデータを要求するため、この状況はさらに悪化する。

16550 UART は、この問題をうまく解決してい る。16 バイトの FIFO (先入れ先出し) オンボード バッファを使用しているのである。この適度な大 きさのメモリによって、マルチタスクコンピュー タが別のタスクに対処しているときでも、16550 は通信を維持することができる。適切にプログラ ミングされている場合、16650のバッファの特性 を活かすには、専用に書かれたプログラムが必要 なので、それに対応したソフトウェアを使う必要 がある。16550 は単独で16 バイト分の通信を実行 することができる。ホストのマイクロプロセッサ が別のタスクを処理している間にも、自分でデー タを送受信できるのである。ただし、16550の内 蔵バッファはソフトウェアで明示的に使用可能に する必要があることに注意しなければならない。 このバッファを使用可能にしないと、16550の機 能は 16450 とまったく変わらず、パーソナルコン

ピュータは何の恩恵も受けることができない。

チップセット

UART チップ自体は姿を消しつつあるが、その 機能は ASIC (特定用途向け IC) に引き継がれて いる。現在ほとんどのパーソナルコンピュータの 構成の核となっているチップセットの中には、一 般に1つ以上のUARTの回路が組み込まれてい る。現在のワンチップコンピュータや3チップコ ンピュータでは、UART機能が、パーソナルコン ピュータのロジック機能と同じチップの中に組み 込まれている。さらに、一部のメーカーは、マルチ ファンクションボードで使用できるように、複数 の通信機能を1つのパッケージに収めている。た とえば、Western Digital の「16C552」は、2つ の 16550 UART と1つのパラレルポートを1つ のチップにしたものである。これらの先進的なチッ プの場合でも、埋め込み型 UART の内部設計は、 システム全体の互換性を確保するために、独立型 UART を引き続き模倣していくだろう。

UART のアップグレード

16550 は 16450 とソケットが共通になっているため、パーソナルコンピュータまたはシリアルカードの UART が、はんだ付けではなくソケット方式で搭載されていれば、チップの取り替えは数分で行える。このアップグレードは大した費用がかからず、UART は電子部品の小売店で購入できる。ただし、注文するときには、最新の「16550A」バージョンを入手すること。

入出力のアドレス指定

IBM マシンおよび互換機では、シリアルポートはマシンの回路に単純に拡張された形になっている。メモリまたはマイクロプロセッサレジスタからのデータは、単純に UART に転送され、ここでパラレルデータからシリアルデータへと必要な変換が行われる。UART の出力はシリアルラインドライバ集積回路を通してチャネルに出力されるが、ここで、コンピュータが使用する 5V の TTLロジックから、RS-232 規格が指定する二極、高電圧方式に変換される。

UART のレジスタにアクセスする場合には、パーソナルコンピュータのマイクロプロセッサは、コマンドをシステムの I/O ポートを通じて送信しなければならない。また、モデムが送受信するデータも、別の I/O ポートを通じてパーソナルコンピュータに伝送される。実際に、標準の PC アーキテクチャでは、各 UART に(したがってパーソナルコンピュータの各非同期通信アダプタ=シリアルポートに)、8個の I/O ポートの空間を割り当てている。ただし、実際に使われているのは7個だけである。

DOS のもとでは、IBM は複数の非同期通信アダプタが使用できるように、4 組のポートを指定している。それぞれの組は、8 個の連続したアドレスのポートで構成されていて、3F8h、2F8h、2E8h、3E8hで始まる I/O ポートアドレスを使用している。OS/2 もまた 8 個の I/O ポートのレンジを通じて非同期アダプタと通信するが、最初の2つを除いて、DOSとは異なるポートアドレスを使用している。OS/2 の場合の I/O アドレスは、03F8h、02F8h、3220h、3228h、4220h、4228h、5220h、5228h から始まる。

これらのアドレスは、ほとんどのソフトウェアや BIOS、およびオペレーティングシステムによる DOS プロンプトからは直接操作できない。これは、別の名前が各非同期通信アダプタに割り振られているためである。パーソナルコンピュータを起動すると、BIOS はシリアルポートに利用できるアドレスを探し出して、シリアルポートのベースアドレスを絶対メモリアドレス 0000:0400hの BIOS データ領域に転送する。また、I/O ポートのベースアドレスのリスト順で、ポートをサーチする。DOS は、"COM1" から"COM4" の名前をこの順序で、BIOS データ領域にリストされているポートに割り当てる。OS/2 は、そのシリアルポートを"SERIAL 1" から"SERIAL 8" と呼んでおり、それぞれにアドレスを割り当てている。

レジスタの機能

それぞれのシリアルポートに割り当てられたベースアドレスのレジスタは、データ通信に使用されている。データは、マイクロプロセッサの OUT/IN

命令を使って、UARTとの間でやりとりされる。 次の6個のアドレスは、ほかのシリアルポートレジスタによって使用されている。その順序は次の 通りである。

- 1. 割り込み識別レジスタ
- 2. 回線制御レジスタ
- 3. モデム制御レジスタ
- 4. 回線ステータスレジスタ
- 5. モデムステータスレジスタ
- 6. ディバイザラッチレジスタ

ディバイザラッチレジスタは、送受信レジスタが使っているベースアドレスと、割り込みイネーブルレジスタが使っている2番目のアドレスのレジスタを共用している。これらに対するアクセスの切り換えは、回線制御レジスタの設定状態を変更することで行う。

ディバイザラッチは、シリアルポートの動作速度を決定する除数を格納している。このラッチにロードされた値を16倍し、その結果の値でUARTチップに供給されるクロック信号を割って、ビット速度を決定する。シリアルポートが動作できる速度は、16の倍数の因数であり、最高速度は供給されるクロック信号(1.8432MHz)の1/16が限界になる。ラッチ値を最小値の1に設定すると、ビット速度は115.200となる。

レジスタは UART チップが使用する値を格納するだけでなく、シリアル変換の進捗状況をシステムに報告するためにも利用される。たとえば、回線ステータスレジスタは、伝送するためにロードされたキャラクタが実際に送信されたかどうかを示す。また、新しくキャラクタを受信した時点もこれで示される。

DOSの DEBUG コマンドや自分のプログラムを使って、ユーザーはこれらのレジスタに格納されている値を変更できるが、通常はこれらのレジスタにかかわる必要はない。しかし、このレジスタはプログラマに柔軟性を提供してくれる。

DIP スイッチやジャンパを使って設定しなくても、これらのレジスタが直接アドレス指定できるおかげで、重要な動作パラメータはすべてソフト

ウェアによって設定できる。たとえば、適当な値 を回線制御レジスタにロードすると、ワード長、 パリティ、シリアルワードに使用されるストップ ビットの数を変更することができる。

フロー制御

データ伝送のほかに、UARTは、自分自身の動作や、自身が従事しているシリアル転送の管理方法を制御する信号を生成したり、ほかの信号に反応したりする。制御は、I/Oポートを通じてコンピュータがアクセスする、複数のレジスタを介して行われる。たとえば、シリアルポートの通信速度を変更したい場合には、単にレジスタに適切な値をロードすればよい。実際の通信制御は、パーソナルコンピュータの後部パネルのシリアルポートコネクタに出力もしくは受信される電気信号によって行われる。

UART機能の1つに、シリアル回線における データフロー制御がある。すべてのシリアル交換 は、2つの装置が会話を行っているようなものであ る。一方の装置が話しているときは、他方はこれ を聞かなければならない。正常な会話とまったく 同様に、聞き手が注意を払わないと、コミュニケー ションは成り立たない。また、話し手があまりに も早口で話すと、聞き手は混乱して話のほとんど を聞き逃すことになる。コンピュータ間のシリア ル通信も、これと同じ課題を抱えている。データ 転送の手順に正しく従わないと、コンピュータは データを無造作に取り出して、これを消失させか ねない。たとえ接続に問題がない場合でも、受信 側の装置が別のモードで動作しているために、転 送されてくるシリアル情報を正しく受信できない 場合もある。あるいは、シリアルデータがあまりに も高速で着信すれば、受信側システムがこれに対 応できず、その情報を保存しておいて後でチェック することさえできないこともあるだろう。この場 合、受信側システムから送信側システムに対して、 データの獲得準備が整うまで停止して待機するよ うに通知する手段が必要になる。シリアルデータ の"フロー"を制御するための方法がいくつか開発 されているが、これらはすべて、伝送手法の用語 におけるハンドシェイクと呼ばれる方法に分類さ れるものだ。

最も簡単な解決方法は、受信側システムが受信 の準備が整っていることを通知するために使用す る信号線として、特殊な配線を使用することであ る。この方法は特別なハードウェア(フロー制御 線)を使用することから、ハードウェアハンドシェ イクと呼ばれる。これは、現在の IBM 互換機の シリアルポートに採用されている、デフォルトの フロー制御方法である。ただし、一部の通信チャ ネルでは、特別な信号線を使用することができな い。たとえば、モデム(シリアルポート通信装置 の典型例)が使用する電話接続は、データの搬送 用に2本のワイヤ線しか持っていない。このよう にハードウェアによる送信手段が利用できない場 合には、代替手段によるフロー制御が必要となる。 このような通信を論理的に管理するには、聞き手 に特殊キャラクタを与えればいい。このキャラク タは、話し手に対してスローダウンもしくは停止 するように通知するセマフォアとして使用される。 再びスピードアップできることを通知するには、 別のキャラクタを使う。このようなフロー制御は、 ハードウェアを使わないため、ソフトウェアハン ドシェイクと呼ばれている。さらに、フロー制御 に使われる制御コードは、ソフトウェアで実現さ れる、一時的に出現するものだ。

大半のソフトウェアハンドシェイク法では、受信 側システムは2つのキャラクタを使って、送信側 システムに対して、データ伝送を受信できる準備 が整っている時点と、一時的にこれ以上のデータを 受け付けることができない時点を通知する。一般 に、ソフトウェアハンドシェイクでは、2つのキャ ラクタがペアで使われる。ETX/ACK ハンドシェ イクでは、データ伝送に休止が必要であることを 通知するために、ASCII16 進数キャラクタの 03h (ETX=End TeXt または Control-C とも呼ばれ る)の制御コードが使われ、再開 OK を通知するに は 06h (ACK=ACKnowledge または Control-F とも呼ばれる)が使われている。現在のパーソナルコ ンピュータ製品で最も一般的なハンドシェイクは、 XON/XOFF ハンドシェイクである。これは、デー タフローの休止および再開を通知するのに、ASCII キャラクタの 13h(DC1、XOFF、Control-S) およ

び 11h (DC3、XON、Control-Q)を使っている。

シリアル接続を使用しているほとんどのパーソナルコンピュータ周辺装置は、特別なソフトウェアドライバなしで、ソフトウェアハンドシェイクのオプションを提供しているが、IBM 互換機とは適切に動作しない。それらのマシンはフロー制御キャラクタを認識しないため、これに対応することもないのだ。結果として、データがオーバフローして、キャラクタが伝送中に失われる。たとえば、シリアルプリンタを使用しているときにソフトウェアハンドシェイクが機能しないと、文字、単語または段落全体がプリントアウトから消えるというミステリが起きる場合がある。

ただし、多くのアプリケーションプログラムには、プリンタなどの周辺装置の制御や、ハードウェアハンドシェイク信号を使用できないモデムを介した遠隔のデータ送信装置との通信を可能にするために、ソフトウェアによるフロー制御を行うコードが組み込まれている。多数のマルチユーザーまたはマルチタスキングのオペレーティングシステム(OS/2など)の多くにも特殊なドライバがあり、特別なアプリケーションなしで、システムのシリアルポートを通じてソフトウェアハンドシェイクを使うことができる。

割り込み

UARTは、パーソナルコンピュータのマイクロプロセッサとやりとりを行う。UARTは、情報を整然と転送して、マイクロプロセッサが表示または格納するためにこのデータを処理できるようにしなければならない。最高速度を達成するために、UARTは、受信したデータはできるかぎり速やかに渡すことができなければならない。フロー制御を使って情報が殺到するのを止めるたびに、伝送速度は遅くなるため、この意味でも、UARTには高速な受け渡し動作が必要である。また、即座にマイクロプロセッサの注意を喚起することも必要だ。UARTは、ハードウェア割り込みをマイクロプロセッサに送信して、必要としている注意を得ることができる。

ほとんどのシリアルポートは、適切に動作できるように割り込みが割り当てられていなければな

らない(シリアル通信は割り込み制御なしでも動作するが、この場合には速度が厳しく制限される)。理想としては、個々のシリアルポートに専用の割り込みが割り当てられて、衝突が回避できることが望ましい。しかし、パーソナルコンピュータが利用できるハードウェア割り込みの数は少ないため、IBM はシリアルポートに割り当て可能な割り込みの数を制限しようとした。通常は、IRQ3とIRQ4の2つの割り込みが使われている。一般に、COM1シリアルポートにはIRQ4が割り当てられており、COM2はIRQ3を使用しているのが一般的である。また、COM3はCOM2とIRQ3を共用し、COM4はCOM1とIRQ4を共用している。

この初歩的な割り込み共用方式には欠点がある。 複数のシリアル装置が同時に動作して、割り込み をマイクロプロセッサに要求する場合があるから だ。同じ割り込みを使用する2台の装置がマイク ロプロセッサのアテンションの獲得競争をすると、 チップはどのポートが即時サービスを必要として いるのかわからなくなる。結果として、コマンド が混乱して、データが失われることがある。シリア ルポートを割り当てるときは、同時に動作する可 能性のある2つのシリアル装置には、同じ割り込 みを割り当てないように注意しなければならない。 マウスは常時アクティブな状態になっており、

マワスは常時アクティフな状態になっており、パーソナルコンピュータにコマンドを発行できる態勢にあるため、ほかの装置と割り込みを共用してはいけない。たとえば、シリアルマウスを COM1 (IRQ4 を使用している) に接続したら、モデムは COM4 (これも IRQ4 を使用している) に接続してはいけないということだ。

コネクタ

シリアルポートで外部から見えるのは、シリアル装置との接続口であるコネクタである。IBM 互換機のシリアルポートは、コネクタのタイプによって識別することができる。一般に、2種類のコネクタが使用されており、IBM PC、XT および PS/2 はすべてオス型の 25 ピン Dsub コネクタを採用している。AT で小型コネクタが採用されたのは、このシステムで採用されているシリアル/パ

ラレル一体型ポートボードのカードブラケットに合わせたためである。IBM 方式ではシリアルコネクタの25本のピンすべてが使用されているわけではないので、代わりに小型コネクタを使用することもできるのである。ただし、パラレルポートはピン割り当てをすべて使用している。

25 ピン Dsub コネクタを使用しているパラレルポートは、メス型である(つまり、ピンの代わりに穴があいている)ことから区別できる。旧式の

MDA/CGA/EGA ビデオコネクタは、ATシリアルポートと同様に 9 ピン Dsub コネクタを使っているが、やはリメス型のコネクタを採用している。 ほとんどのシリアルケーブルは、両端に 25 ピンコネクタを使っているため、ATの 9 ピン接続を 25 ピンに変換するアダプタが必要となる。アダプタは市販のものがあるが、自分専用のアダプタを作ることもできる。図 17-1 は、IBM 9/25 ピンシリアル変換器の配線図である。

25ピンコネクタ	9ピンコネクタ	
2 ————	3	
3	2	
4 ————	7	
6 —	6	
7	5	
8 ————	1	
22 —	9	

図 17-1 9/25 ピンシリアル変換器の配線

シリアル装置の種類

シリアルポートの動作がどのようにサポートさ れているかを理解するには、恐竜のような大型コ ンピュータがこの地球を席捲し、パーソナルコン ピュータの姿などは見えもしなかった暗黒時代を回 顧しなければならない。もともと、RS-232ポー トは、巨大なメインフレームコンピュータと、遠 隔都市に設置されている端末とを接続するために、 モデムとデータ端末とをつなぐために設計された。 この接続方式は、半縮小化されたエレクトロニク スしか存在しない世界では、ほとんどどこにでも 見られる "分業" の思想に基づいている。端末は キーストロークをデジタルパルスに変換し、相手 から送られてくるパルスを画面上のキャラクタに 変換する。これに対してモデムは、端末からのデ ジタル信号を、電話回線で伝送できるアナログ信 号に変換するのである。

RS-232 方式では、接続の末端に位置する装置

には厳格に定義された名前が付けられている。端末はデータ端末装置(DTE: Data Terminal Equip ment)、モデムはデータ通信装置(DCE: Data Com munication Equipment)と呼ばれる。この2つの装置の差は、名前以上に大きい。この2つの装置の間の通信は、きわめて巧みに順序付けられた要求と応答のくり返しで行われている。また、この2つの装置は、動作も配線も異なっている。

DTEかDCEかに関係なく、装置上のシリアルポートは双方向で機能しなければならない。情報は双方向で流れるため、接続の両端は送信装置としても受信装置としても動作する必要がある。接続には必ず2つの端がある。そして、その接続の一方の端が端末とモデムだとすると、もう一方の端では、相手の装置が別のモデムを通じて、コンピュータや別の端末、プリンタに対して話しかけてくることになる。接続のいずれの端につながれるかに関係なく、モデムがDCEであり、端末/コ

ンピュータ/プリンタが DTE であるかぎり、すべての通信は正常に動作する。

両端の装置は、送信も受信も行う上、しばしば それらが同時に行われる。このような複雑さのために、真の RS-232 式接続を実現するためには、 1つの通信回路では十分でないことがある。シリア ル装置が自分の伝送を聴いて反応することによって誤動作しないように、標準のシリアル接続は送 受信用にそれぞれ別のワイヤを使っている(モデムは同じワイヤリンク上で2つの異なる信号を使っているため、追加のワイヤはいらない)。

ただし、信号の送受信用に別々のワイヤを使う際は、気を付けないと問題が発生する。一方のシステムが送信に使用する結線は、別のシステムが受信に使用する結線でなければならない。また、この逆の関係も成立しなければならない。両装置が同じ結線を使って送信すると、いずれの装置も受信できず、通信が成り立たない。

慣例によって、コネクタの2ピンと3ピンは2つの通信信号に使われている。通常、DTEは2ピンを使って送信し、3ピンを使って受信している。また、DCEは3ピンを使って送信し、2ピンを使って受信している。ただし、9ピンのATは例外である。ATはDTEと考えられるが、DB-9接続の3ピンを使って送信し、2ピンを使って受信している。IBMが提供している通常の9/25ピンアダプタは、ATを標準の25ピンDTEスタイル接続に変換する。

シリアルポートの送受信ピンに関して1つの重要なポイントは、ストレートスルーケーブル、つまり、一方の端のピンが他方の端の同一番号のピンに直接接続されているケーブルを使用する場合には、DTE は常に DCE に接続しなければならないし、また DCE は DTE に接続されるときにのみ動作するということである。

17.3 シリアルポートの動作方法

RS-232 は、特定の機能をシリアルケーブルのワイヤに割り当てている。データに使う 2本のワイヤに加えて、ハードウェアハンドシェイク用と、動作を適切にするための結線も必要である。標準

25 ピン (DTE) および 9 ピン IBM シリアルコネクタの各種の接続と名称は、表 17-1 に示すとおりである。

表 17-1 IBM シリアルポートのピンアウト

ピン番号	機能	信号名			
25 ピンコネクタ					
2	転送データ	TXD			
3	受信データ	RXD			
4	送信要求	RTS			
5	送信可	CTS			
6	データセットレディ	DSR			
7	シグナルグランド	GND			
8	キャリア検出	CD			
20	データ端末レディ	DTR			
22	リングインジケータ	RI			

ピン番号	機能	信号名	Table 1
カレントルー	プ接続 (IBM 非同期アダプタの	み、現在は廃止)	
9	カレントループリターン送	信	
11	カレントループデータ送信		
18	カレントループデータ受信		
25	カレントループリターン受	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
9ピン(ATタ	イプ) コネクタ		
1	キャリア検出	CD	
2	受信データ	RXD	
3	送信データ	TXD	
4	データ端末レディ	DTR	
5	シグナルグランド	GND	
6	データセットレディ	DSR	
7	送信要求	RTS	
8	送信可	CTS	
9	リングインジケータ	RI	

これらの割り当ての中で最も重要なのが、7ピンの**シグナルグランド**である。データ信号とハンドシェイク信号の2つに必要な戻り経路になるこの結線は、すべてのシリアルケーブルに存在しなければならない。

シグナルグランドは独立した接地であり、1ピンのフレームグランドとはまったく別のものである。このワイヤに対応しているシリアルコネクタのピンは、3線式 ACケーブルの3番目の突起とまったく同様に、機器の金属シャシーやケースに直接接続されている。実際、この接続は電気接地と同じ保安機能を果たしている。これによって、2台のシリアル装置の外部金属部が同じ電位にあることが保証され、2台の装置に同時に触れても電気ショックを受けることがなくなる。体に電気が流れて感電死するようなこともなく、電気は2台の装置を流れる。

適切な接地

ただし、この接続は必ずしも必要でなく、また 必ずしも望ましいものでもない。シリアル連結さ れた2台の装置が、すでに電源ケーブルによって 接地されている場合は不要である。また、2台のシリアル装置が大きく離れていて、電源が別になっている場合には望ましくない。電気接地の電位が変動し(個別の接地線に存在する抵抗が異なるため)、接地されている電源ケーブルが、2台の装置を大幅に異なる電位におく可能性がある。また、フレームグランド回路が、相当の電流を接地ループとして搬送する可能性もある。このループの電流が大きい場合には、電気干渉を引き起こす可能性がある。フレームグランド用のワイヤを溶かして、発火するに十分なほどに電流が大きくなる可能性もわずかではあるが存在する。

下記の規則に従えば最適な接地が行える。

- ●接続された2つのシリアル装置が、電源コード によって接地されている場合には、フレームグ ランドの結線は必要ない
- ●一方の装置だけが電源ケーブルによって接地されている場合には、他方の装置も電源ケーブルによって接地することが望ましい。そうでなければ、シリアルポートのフレームグランドの接続を使用すること

信号の機能

接続の終端にある一方の装置がオフ状態のときは、シリアル通信を開始しようとしても無駄だ。一方の装置が受信しないと、他方の装置からの情報はシリアル回線を無駄に流れて、最後には消失してしまう。このため、RS-232 仕様では、接続の両端に装置が接続されていて、オン状態になっていることを知らせるワイヤが 2 本ある。

20 ピンの信号は、データ端末レディ (DTR) 信号と呼ばれている。この信号は、DTE から送信される正電圧であり、装置が接続されて電源が投入され、通信を開始できる状態にあることを通知するものである。

もう一つの信号は6ピンにある。データセットレディ(DSR)信号と呼ばれ、このライン上の正電圧は、DCEがオン状態にあってジョブを実行できる状態にあることを通知する。

通常の RS-232 のシリアル接続では、通信を開始する際には、これらの信号の両方が必ず出力されていなければならない。DTE は DTR 信号を DCE に送信し、一方の DCE は DSR 信号を DTE に送信する。これで、両装置とも相手の装置が動作可能な状態にあると知ることができる。

通常のモデムのハードウェアハンドシェイクは、2本のまったく異なるワイヤによって実現されている。DCE は5ピンの接続に送信可(CTS)信号と呼ばれる正電圧を出力して、DTE 装置にデータが送信できることを通知する。要するに、DTEに対して、何も邪魔するものがないことを知らせるのである。この接続のもう一方の端では、DTEが4ピンに送信要求(RTS)信号と呼ばれる正電圧を出力して、DCEに対して情報を受信したいという要求を通知する。

CTS ラインと RTS ラインの両方に正電圧が出力されていない場合には、データはいずれの方向にも流れないというのが原則である。正電圧が CTS ラインになければ、DTE はデータを DCE に送信しないし、正電圧が RTS ラインになければ、DCE はデータを DTE に送信しない。

DCE はさらに、データのフローに影響する信号を発行する。キャリア検出信号(CD)またはデータキャリア検出(DCD)信号と呼ばれるライン上の

正電圧は、DCEであるモデムが接続のもう一方の端にあるモデムから、キャリア信号を得ていることを通知するものである。このキャリアが検出されない場合には、シリアル信号が存在せず回線ノイズである可能性がある。このCD信号の助けで、DTEは自分が注意していなければならないときを知る。CDが正でないときには、DTEがデータの受信を拒否することがある。

22 ピンの信号は、リングインジケータ(RI)と呼ばれ、接続している DTE 端末に対して、電話回線上でリンギング電圧を検出したことを通知するために、DCE のモデムによって使用される。つまり、RI の正電圧は、端末に対して、ある装置がモデムを呼び出していることを通知しているわけだ。ほとんどのシリアル通信方式では、これはオプションの信号になっている。この信号がなくても、シリアルデータのフローには支障がないからである。

通常のシリアル通信セッションは、特別なプロトコルに従って実行されている。通信が実行可能になる前に、接続の両端のハードウェアはオン状態になって動作可能な状態になければならない。DTE、つまりコンピュータは DTR 信号を出力し、一方の DCE、つまりモデムは DSR 信号を出力する。モデムは電話の呼び出しによって起動されると、RIをコンピュータに送信し、これによってメッセージが画面に表示される。モデムが呼び出しの相手側の終端にある別のモデムと接続を完了すると、呼び出し側のモデムが CD 信号をコンピュータに送信する。呼び出し前の待機中にオン状態になっていない場合には、コンピュータは RTS 信号を出力し、モデムは CTS 信号を出力する。

キーボードから入力したデータをモデムに送る か、ファイルからデータをモデムに送る場合に、 モデムのデータ送信速度がコンピュータ側に追い 付けないときには、モデムは CTS 信号を落とし て、パーソナルコンピュータに対してしばらく動 作を延期するように指示する。再び CTS を正に すると、コンピュータはデータ送信を再開する。

データがモデムから送信されるときに、コン ピュータが伝送データの一部をディスクに保存す るなどの重要な作業を行う必要がある場合には、 RTS 信号を落とすと、モデムはデータの送信を停止する。コンピュータがディスクに関する雑用を

終了して、再びRTS信号を立てると、データが 再びモデムから流れてくる。

17.4 DTE同士の通信

DTEとして機能するコンピュータシリアルポートを、DCEとして機能するモデムに接続する限り、このシリアル接続方式は大抵最初から正常に動作する。必要不可欠なすべての信号をまかなえるだけの端子を持ったケーブルを、コンピュータとモデムの間に渡すだけで、トラブルのないシリアル通信を行えるのである。これを試してみると、どうしてこんなに多くの人々がシリアル接続の気まぐれに不平をとなえるか不思議に思うだろう。

問題は、モデム以外の装置をシリアルポートに接続する場合である。モデム以外の一般的なシリアル装置としては、プリンタ、プロッタ、マウス、デジタイジングパッド、ビデオ表示端末などがあるが、これらの装置のほとんどは、DCEとしてセットアップされず、端末とプリンタの二重の役目を持っていた初期のコンピュータプリンタに従って、自身がDTE装置になるのである。

2台のDTEを通常のシリアルケーブルを使って接続すると、結果的にケーブルによって接続された2台のシリアル装置を持つことになる。2台のDTEは、それぞれが相手が聴いている回線を聴いて、相手が話している回線で話しているため、通信システムとはならないのである。DSRピンに適当な電圧が存在しないと、これらは話すことさえしなくなる。

IBM 互換機はすべて DTE である (特殊な例外として、9 ピンシリアルコネクタを装備した AT がある)。モデムやほとんどのマウスは DCE であり、IBM スタイルの 25 ピンシリアルポートに直接接続することができる。ただし、プロッタなどの多くの周辺装置と同様に、DTE として動作するシリアルプリンタは問題を生じる。

シリアルプリンタをパーソナルコンピュータに

接続する際に生じる問題の解決策は、単純ではあるが、パーソナルコンピュータに対してはパラレルプリンタしか使用しないことである。ただし、常にこの方法がとれるわけではない。プリンタを遠くに設置するためにはシリアルプリンタが必要になるし、利用できる唯一の接続がシリアル接続であることもある。

クロスオーバーケーブル

プリンタなどの DTE を、パーソナルコンピュータのシリアルポートに接続しなければならない場合には、この2つのポート間のどこかで2ピンと3ピンを反転させなければならない。クロスオーバーケーブルと呼ばれる特殊なケーブルは、まさにこれを行うためのものである。さらに、ほとんどのクロスオーバーケーブルは、RTSリードおよび CTSリードと同時に、DTRリードと DSRリードのスワッピングも行う。このようにして、2台の DTE は相互にデータが交換できるようになる。それぞれの装置からの DTR 信号は相手に対して自分が動作可能であることを通知し、RTS信号はフロー制御信号として機能する。一般的なクロスオーバーケーブルを図 17-2 に示す。

理想の世界では、2台のDTE間のクロスオーバーケーブルは、DTEとDCE間の通常のストレートスルーケーブルとまったく変わらずに動作する。しかし、現実の世界は別だ。

まず問題になるのが、CD ラインに相当する信号がないことである。DTE は、CD 信号に類似するいかなる信号も送出しない。この CD 信号がないと、DTE はデータを送出できなくなる可能性がある。

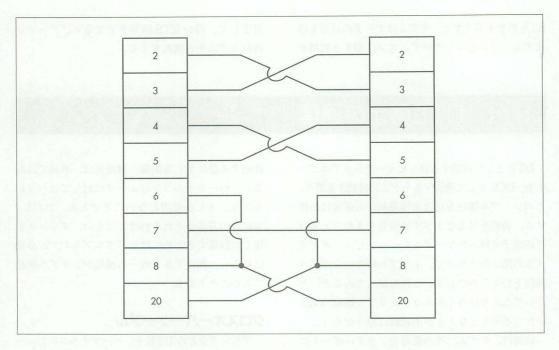


図 17-2 一般的なクロスオーバーケーブル

これについては、すでにある信号を使って CD 信号を作り出すことで簡単に解決できる。 DTE が データを送り出すためには、CD および CTS の 2 つの信号が共に存在しなければならない。 これらを一緒にしてしまうと、DTE はその違いに気付かない。したがって、CTS が立てられると、DTE は同時に CD 信号が存在すると見なし、送信してもよいと認識するのである。

この方式を応用すると、システムの配線が簡単になり、信頼性も向上する。何らかの信号を送り出そうとする場合には、DTE装置は当然電源が入っている状態になければならない。一方、DTRとRTSは、DSRとCTSに振り替えられて、接続の当事者である別のDTEに、送信可能であることを通知する。つまり、RTSは2つの役割を果たすことができるわけだ。つまり、RTSという1つの信号は、クロスオーバーケーブルを使って、もう一方の端の3つの信号、DSR、CTS、CDを制御することができる。これらのワイヤは、シリアルケーブルに付いているコネクタの内部で実際

に連結することができる。このケーブルを使えば、 ほとんどのケースで、2 台の DTE を交信させる ことができる。

DTEがすべて同様に配線されるわけではない。 したがって、この特殊なクロスオーバーケーブル がすべての環境で動作するわけではない。たとえ ば、一部のプリンタは、DTE として機能するコン ピュータのシリアル出力に接続するように設計さ れている。このため、この種のプリンタは、シリ アルコネクタに、DTR と同様に動作するが DTR とは別物である特殊なフロー制御ピンを採用して いる。このようなシリアルポートでおそらく最も 一般的なのが、Digital Equipment Corporation や NEC の一部のプリンタで採用している、19 ピ ンをフロー制御に使う方式だろう。コンピュータ からの DTR は、DSR、CTS および CD を立て、 ほかの装置の制御に使用されるが、これらのプリ ンタの19ピンも同じことを行っている。この種の 多くのシリアルプリンタに採用されているクロス オーバーケーブルを、図 17-3 に示す。

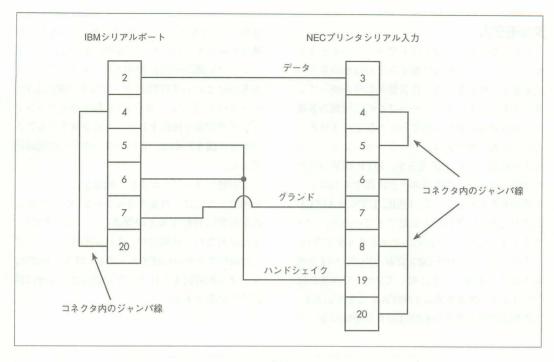


図 17-3 NEC プリンタおよび同機種用のクロスオーバーケーブル

いくつかのシリアルポートでは、DTEとDCEの切り換えを可能にすることによって、配線をクロスさせたり配線の結線を変更する際の混乱を避けられるようになっている。スイッチを切り換えるか、ジャンパを移動すると、これらの製品のピン定義割り当てが変更され、ストレートスルーケーブル以外に何も使わずに、多くのシリアル装置で動作するようにできる。

ただし、このようなどっちつかずのポートは万能薬ではない。自分を DTE と定義すると同時にフロー制御に 19 ピンを使用することによって、クロスオーバーケーブルに問題を発生するシリアルプリンタはその例である。適切に構成された DCEでも、ストレートスルーシリアルケーブルを通じてこの種の DTE ポートに接続されると、効果的なフロー制御を提供しなくなるからである。

正しいハードウェアハンドシェイク接続の組み合わせを見つけるのに簡単な方法の一つとして、ソフトウェアにこれをまかせてしまうという方法がある。つまり、ハードウェアハンドシェイクを

避けて、代わりに大半のシリアル装置で利用できる XON-XOFF ソフトウェアフロー制御を使用するのである。これはアイデアとしては良いが、すべてが適切に動作しなかったり、まったく動作しないときには、何時間もの悪戦苦闘が強いられる危険性もある。

ソフトウェアハンドシェイクを使用しようとしても、何も起こらないことがよくある。これは正しいソフトウェアドライバがないためで、PCやPS/2の方では、ユーザーがソフトウェアハンドシェイクを使いたいと思っていることを分からないのだ。この場合、DSRやCTSが接続先のシリアル装置から送られてくるのをただ待っているだけとなる。

さらに、ソフトウェアによるフロー制御に切り換えても、DTE および DCE の送受信接続は変更されない。DTE コンピュータを DTE プリンタ (またはそのほかの装置) に接続する場合には、たとえソフトウェアハンドシェイクを使う場合も、クロスオーバーケーブルが必要なことには変わりない。

ヌルモデム

しかしながら、ソフトウェアハンドシェイクを使うと、シリアル接続に関するそのほかの多くの約束事から解放される。自局側の信号を使ってシリアルポートをだまし、ケーブルの反対側の装置から自分が望む信号を得ていると信じ込ませることができる。たとえば、パーソナルコンピュータ自体が提供している正電圧を、DTR信号の代わりに使えば、シリアルコネクタ内部で4つのピンを連結することによって、DSR、CTSおよびCD信号が完全な応答信号を受信できていると、パーソナルコンピュータに信じ込ませることができる。

このトリックを行う(通常は双方向で、つまり接続されている両ポートに対して)ケーブルまたはアダプタは、ヌルモデムと呼ばれることがあるが、この用語の指す意味の範囲はかなり曖昧になって

おり、「ヌルモデムケーブルをくれ」というと、単純なクロスオーバーケーブルや、すべてのハンドシェイク回路が一緒に配線されているケーブル、あるいはこれら2種類のケーブルを一緒にした、データペア(2ピンと3ピン)を振り替えてハンドシェイク回線を接続するケーブルを渡されることがある。図17-4は、正しいヌルモデムの配線図である。

この種のケーブルが正しく配線されていることを確認するには、自分でやるしかない。たとえこれが正常に動作するとの保証にならないまでも、またはあなたの技術力が、それが動作しないことしか証明できない程度であっても、購入する前に、ケーブル配線図またはケーブル説明書を詳細に検討する必要がある。

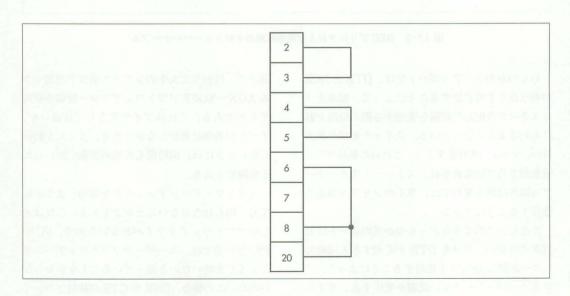


図 17-4 ヌルモデムの配線 (ループバックコネクタ)

3線式シリアル接続

パーソナルコンピュータに接続するDTEが、プロッタまたはプリンタである場合、すべてのシリアルポート信号についてあれこれ考える必要はない。ハードウェアハンドシェイクの場合には、プリンタがパーソナルコンピュータに伝えるべきことは、停止および開始の時点だけである。これは

1本のワイヤだけで処理できる。また、片方向のデータフローなら、データ転送用のワイヤは1本だけで十分である。さらに、1本の接地線をハンドシェイクとデータ信号で共用できるため、シリアル装置は、TXD上のデータ用とシグナルグランド用、およびハンドシェイク用の3本のワイヤだけで接続することができる。

このようなきわめて簡素化されたケーブルを採用する理由はいくつか考えられる。まず、接続数が少ないために、トラブルも少ないということがある。また、システムを動かそうとする際に要求されることのある試行錯誤の回数を、3線式ケー

ブルの場合は大幅に簡素化することができる。図 17-5 に、このような接続用として使用できる 2 種類の 3 線式ケーブル、つまりストレートスルーとクロスオーバーの両ケーブルを示す。

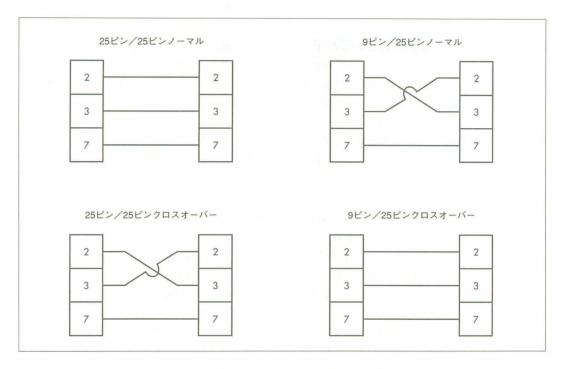


図 17-5 3 線式シリアルケーブル

17.5 シリアル通信のトラブル診断

シリアルポートの接続および動作には様々な方法 があるため、正常に動作しない構成を行いがちであ る。シリアル接続のミスマッチの結果として、デー タフローが遅かったり、まったくなかったり、奇妙 な文字がテキスト中に現われたり、シリアルデー タが消失したりと、様々なトラブルが発生する。

この種の問題を解決するために、ブレークアウトボックスが使われている。この、両側に端子のあるシリアルコネクタは、パーソナルコンピュータのシリアルポートに接続して使用するもので、

シリアルケーブルはこのボックスに接続される。 ブレークアウトボックス上のインジケータは、シ リアルポートのどの信号がアクティブになってい るかを表わしてくれるので、ブレークアウトボッ クスのジャンパスイッチによって、正しいインジ ケータを点灯させ、正しく動作する接続になるま で、シリアル配線を椅子取りゲームの感覚で調整 できるのである。

ただし、基本的なトラブルシューティングについては、ブレークアウトボックスを必要とするま

でもない。徴候を注意深く観察して、シリアルポートがどのように動作しているのか、何が不調なのかを少し考えれば、強情なシリアル接続でも動作させることができることもある。以下の各節では、シリアルの問題が発生した場合にユーザーが自問自答するときの疑問をもとにして、そのトラブルシューティングの手法について述べる。

ポートハードウェアは動作しているか?

問題が生じたときに、それにはまったく関係ない場所を調べ始めるというのは、我々にはよくあることだ。シリアルポートが原因のように見えても、実際には装置やケーブルの問題であることがある。シリアル通信のトラブルを診断する際の第一歩は、トラブルの原因となっている箇所を特定することである。

正しく動作するシリアル回路が1つあれば、その作業は簡単になる。使用するポートを変えれば、問題の箇所を、使用しようとしている装置とポート割り当てのどちらかに特定できる。これをチェックするには、ポートに直接接続されているケーブルコネクタ(シリアル装置に接続されているシリアル装置を疑いのあるポートに接続すればよい。接続したポートをアドレスするようにソフトウェアを変更した後に、差し換えたシリアル装置がさっきまではうまく動作しなかったポートの上で動作する場合には、シリアルポートは正常に動作しているが、これに接続されているケーブルまたは装置に問題があると考えることができる。

もう1つ行うべき予備チェックは、使用したいシリアル装置が DCE と DTE のどちらの装置として設計されているかを調べることである。使用するケーブルは装置のタイプによって決められる。IBM 互換機に接続する場合には、DCE はストレートスルーケーブルで動作するはずだ。また、PC または PS/2 に接続される DTE 装置は、特殊なケーブルを必要とする。ケーブルと装置のタイプが一致していないと、データはまったく流れない。

何か動作するデバイスを用意できるか?

動作することが確認されているシリアルポート

やアクセサリを用意する余裕がない場合には、たいへん手間のかかるテストを実施するはめになる。 動作することが確認されているシリアル装置を使用すると、比較的簡単にポートをチェックできる。

テスト機器として最適なのは、Hayes 互換モデムと、動作することが確認されているストレートスルー接続ケーブルであろう。このモデムをポートに接続して動作するかどうかチェックする。モデムが動作すれば、ほかのシリアル装置およびそのケーブルに問題の箇所を限定することができる。モデムが動作しない場合には、恐らくあなたがもともと接続しようとしていた装置は、動かすのにやっかいなものであると考えられるため、さらに深く追求しなければならない。

動作がすることが確認されているシリアル装置がないか、動作しないシリアル装置しかない場合には、ポートがどのようにトラブルを発生したかを調べることが次のステップとなる。実際にこのチェックは、ポートが動作しないことを発見した時点ですでに行っているはずだ。ただしこのとき、嫌になって中途半端に放り出さずに、トラブルの発生の仕方およびそのトラブルによってシステムが置かれた状態によく注意する必要がある。

シリアルポートで最も一般的に見られるトラブ ルは、まったく動作しないことである。データを シリアルポートに送信しようとしても、応答がな く、ときにはコンピュータの制御が失われて、コ ンピュータを再ブートして動かすしかなくなる。

最も初歩的な原因は、シリアルポートを持っているつもりで実は持っていないということである。 シリアルカードと考えているものを接続していて も、それがシリアルカードでなかったり、シリア ルカードであっても、それが動作しない場合など が考えられる。

システムがこのシリアルポートを認識していることを確認することが、最初のステップとなる。これには、DOS 診断プログラムの DEBUG を使ってメモリ中のポート割り当てをチェックすればよい。DEBUG の DUMP コマンド (Dだけでも可)が、メモリ中に格納されているデータを画面に表示してくる。絶対アドレス 400h から始まるロケーションが特に重要である。PC、XT および AT で

は、400hの先頭の4バイトが、コンピュータがサポートする2つのシリアルポートのポート割り当てを格納している。一方、PS/2は先頭の8バイトを使って、自分がサポートする4つのポート割り当てを格納している。大半のPCベースのデータと同様に、これらのポート割り当ては最下位バイトを先頭にして格納されている。

システムのシリアルポート割り当てを表示したい場合には、Debug を実行する。ハイフンのプロンプトが表示された時点で、下記のコマンドを入

力する。

-d 40:0

このコマンドは、絶対メモリアドレスの 400h から始まる 128 バイトをディスプレイに表示するように命令するものだ。

たとえば、システムに1つのシリアルポートが ある場合には、次のように表示されるはずである。

先頭の2バイトは、このシステムに、ポート番号 03F8h で割り当てられた1つのシリアルポートが確実に存在することを意味している。

ポートは衝突していないか?

せっかく複数のポートがあるのに、どのポートも動作しなかったり、2つを同時には使えない場合には、トラブルはポート割り当ての衝突に起因している可能性がある。たとえば、2つのポートが同時に COM1 であろうとしているとき、2つの異なるハードウェアがコンピュータのコマンドに同時に応答する場合には、ユーザーもソフトウェアも、ペアのどちらがどの時点で応答してくるのか知ることができない。したがって、システムは、断続的に動作したり、まったく動作しなくなるのである。

システムにシリアル出力を行う装置が標準装備 されている場合に、内部モデム、マルチファンク ションボードまたは一部のマウスアダプタを追加 すると、簡単にポート重複のわなに足を踏み入れてしまうことになる。普段は、コンピュータもアドイン製品も特別にシリアルポートでユーザーを混乱させることがないため、ユーザーは簡単にこれらの1つを忘れてしまうのである。通常、シリアルシステムが同じポート割り当てを選択している場合には、混乱はそれを取り除くまで止まない。

シリアル接続の問題を分析する場合の第一歩は、システムの中のポートの数を数えることである。 アドインシリアルボード、ポートが組み込まれているマルチファンクション製品、内部モデム、システムボードの標準装備のシリアルポート、シリアル接続を使用するマウスアダプタボードなどをすべてカウントする。

PC、XT または AT を持っていて、2個を超えるポートがある場合には、少し考えなければならない。1つが内部モデムである場合には、正当な行為として、これを COM3 として割り当てることができる可能性がある。多数の通信パッケージ

は、内部モデムと一緒に組み込まれているものも 含めて、この COM3 を正当なポート割り当てと して認識する。ただし、DOS およびパーソナルコ ンピュータはこのポートを認識しないため、DOS の MODE コマンドを使ってプリンタポートとし てアクセス可能にできない場合がある。一般には、 DOS の MODE コマンドを使って DOS 上で直接 モデムを操作することはないので、たぶんこのこ とには気が付かないだろう。

同様に、マウス/アダプタボードに付属のドライバソフトは、いつも使っているシリアル通信と 衝突しないポートに、マウスインターフェイスを 割り当てられるようになっていなければならない。

依然として2個を超えるポートが残る場合には、 余分なポートは使用禁止にしなければならない。

割り込みは適切に割り当てられているか?

一部のシリアルボードには、ジャンパの設定を変えたりして、各ボードで使用する割り込みとシリアルポートを割り当てなければならないものがある。たとえば COM1 にポートが割り当てられたボードなのに、割り込みが COM2 に設定されていたり、自分で間違えてそのようにセットアップしてしまうと、シリアルポートは断続的にしか動作しないか、まったく動作しないことになる。

また、ほかの周辺装置が、シリアルポートに割り当てられるべき割り込みのどれかを使用しようとする可能性もある。たとえば、シリアルポートを使わないはずのテープバックアップシステムやバスマウスなどが、COM2シリアルポートから割り込み3を横取りしようとすることがある。

この状態のおもな徴候の1つは、ポートの動作が安定しないことである。使用しているほかのアクセサリしだいで、動作したりしなかったりするのである。もちろん、別の装置がシリアルポートを先取りして、その動作を完全に妨害することもある。

この問題を解決するには、すべてのポートの割り込みが重複していないかどうかを確認して、衝突があれば割り当てを変更しなければならない。 PC および XT の場合はハードウェア割り込みが 不足しているため、周辺装置にうまく割り当てる のは難しい。

ハンドシェイクが存在するか?

シリアルポートに割り込みやポートのアドレスの衝突がなく、ほかの装置であれば動作するようなのに、特定のシリアル装置と動作できない場合には、ハンドシェイクがないことが原因である可能性が高い。さらに、シリアルポートの不具合の症状が、システムが完全にロックされず、Ctrl-Breakや Ctrl-C などの入力で、シリアルポートで行おうとしていたことを中断できる場合は、ほとんどそれが原因であるといっていい。この場合に想定されるのは、このシリアル回路のハンドシェイク配線が正しく行われていないということである。

特別なソフトウェアがないかぎり、一般に、PC、XT、AT または PS/2 では、データをシリアルポートを使って転送する場合には、ハンドシェイクを行うことが必要である。また、DCE、DTE およびケーブルのタイプが一致していない場合には、ハンドシェイクは必ず失敗する。

ハンドシェイクは、テストと経験という2つの アプローチの仕方で検証することができる。

テストには、電流電圧計 (VOM) またはデジタルロジックプローブが要る。単純に、問題のシリアルポートに接続されているコネクタを調べて、DSR、CTS および CD ピンで電圧あるいは論理状態を測定する。ハンドシェイク信号が存在する場合には、これらのピンのそれぞれに触れた時点で、通常 5V を超える正電圧が測定されるはずである。また、ロジックプローブのインジケータは、これらのピンに触れると点灯するはずだ。

経験的アプローチとしては、DSR、CTS およびCD ピンを直接 DTR に接続して、ハンドシェイク信号が少なくとも回路のパーソナルコンピュータ側に存在することを確認する方法がある。この場合、必要なワイヤをはんだ付けするか(乱暴な解決策であるが動作する)、ブレークアウトボックスを使って実験を行うことができる。この調整後に、パーソナルコンピュータが異なった動作したり、少なくともキャラクタをいくつかシリアル装置に送信したかのように動作する場合には、ハン

ドシェイクの問題である (パーソナルコンピュータがデータを送信したような動作をしたのに、プリンタなどのシリアル装置が何も受信しなかったように動作する場合には、TXD および RXD 回線のクロスが必要であり、さらに、DCE と考えている装置が DTE である可能性が高い)。

文字が消えるか?

シリアル装置が正しく動作しているように見えるのに、送信されてきた中から文字がなくなっている場合には、フロー制御に問題があると思われる。一般にシリアルプリンタは、実際に読んでみるまでは、一見正しく見える文字をがたがたと打ち出しているが、このとき、文字、単語、文および段落全体が消えていることがある。復帰および改行キャラクタがコンピュータからプリンタに送信される途中で失われるために、行がマージン設定を無視することもある。

この問題は、ハンドシェイクの処理が追い付かないことによって発生する。受信側の装置に送られてきたキャラクタを処理する余裕がない場合に、ハンドシェイク信号が中断されるのではなく、ロックされてしまうのである。このため、プリンタが受信した内容を処理している最中であっても、コンピュータ側には、プリンタが次から次へとデータを要求しているように見えるのだ。

この場合は、フロー制御に使用している結線 (CTS のことも、まったく無関係のもの、たとえば、DEC および NEC の 19 ピンなどであること もある)をチェックして、それがパーソナルコン ピュータの DSR または CTS に接続されているこ とを確認する。さらに、シリアルシステムの両装 置が同じフロー制御プロトコルを使用しているこ とも確かめる。コンピュータがハードウェアの制 御下でキャラクタを送信している一方、プリンタはフローを停止しようとして、XOFFを次々に無益に送信している可能性がある。プロトコルが一致していない場合には、文字が無くなる可能性が高い。

プリント作業が中断するか?

シリアルプリント作業が、たとえば最終ページをプリントする前など、途中で終了したり、突然、 "Device Timeout Error (時間切れエラー、デバイスからの応答がない) "などのエラーメッセージを表示して停止する場合、その原因としては、シリアルポートのパラメータを設定するときに、MODE コマンドの終りに Pパラメータを付け忘れているという単純ミスが考えられる。この場合、プリンタはコンピュータを満足させるに十分な速さで応答しないため、何かトラブルが発生しているとコンピュータに認識されてしまうのである。

意味不明のデータが送られる

シリアルシステムが、わけのわからない内容を 生成する場合には、恐らく接続の両端でシリアル ポートのパラメータが一致していない可能性があ る。コンピュータはキャラクタをあるビット速度 で送信しているが、シリアル装置のほうでは別の 速度でキャラクタを受信するものと考えているか もしれない。同様に、接続の一方の端が偶数パリ ティを期待しているのに対して、コンピュータに は奇数パリティが設定されていることも考えられ る。これは、2台の装置が同じ言語を話していな いようなもので、混乱するのは当然だ。接続の両 端で通信パラメータを一致させることが、この問 題の解決策である。

マサルスボヤギ文

のは、100mではなる。 さい。100mでは、100m

TO THE STATE OF TH

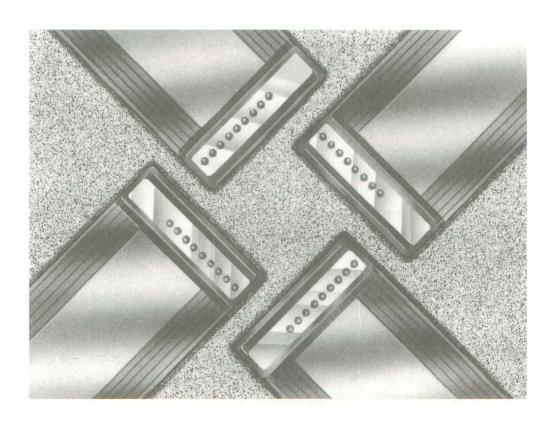
ショント作業が申請するか?

大学の機能は、1000年代の一個の機能を使用しません。 大学のでは、1000年代の一個の機能を使用しません。 一般のでは、1000年代の一個の情報のできません。 1000年代の100

原味不関のデータがざられる

第18章

モデム



キーボードの前に一人で座っているだけではなく、電話回線を通してほかのコンピュータと接続し、ファイルやプログラムや情報を交換することによって、コンピュータから大きな力を引き出すことができる。そして、今日のアナログ式の電話回線と、デジタル式のコンピュータを接続するために必要となるのがモデムである。モデムには速度や機能によってたいへん多くの種類がある。

モデムはコンピュータと接続する周辺機器の中では、最も切望され、実際、最も使用されてきた周辺機器であるといえるだろう。携帯型のコンピュータでは、どの機種をとってみても、モデムが接続できるようになっている。モデムはコンピュータの個性を外の世界に向けて示すことができる、コンピュータの機能の1つである。モデムがあれば、オンラインデータベースへの接続やコンピュータの遠隔操作ができるだけでなく、遠く離れた所に友人を持つこともでき、それを世界中に広げることもできるのだ。

モデムの役割と機能は単純で、説明はきわめて簡単である。モデムの役目は単にコンピュータと電話回線を接続させるだけだ。コンピュータも電話も、メッセージを作ったり移動させたりする方法が表向きはまったく同じであるため(どちらも電気信号を使用している)、余分にモデムのような装置は必要はないように思われるかもしれない。もし、例の巨大企業(あえて名前は出さないが……)が、コンピュータと電話を専門に扱っておらず、公然と競争関係にある企業もなかったなら、彼らが陰謀を企んで、コンピュータ市場に「モデム」などというものをわざわざ購入させようと、仕組んでいるのではないかと疑うかもしれない。

しかし、モデムとは何かという質問に立ち帰ってみれば、この機器の素晴らしさを見直すことになるだろう。様々な点で今日のモデムは、驚異的な仕事をこなしてくれる。たとえば、最先端のモデムは、1度に1ビットしか入らないような1本の電話線に、12ビット以上ものデータを詰め込むことができる。安い普通のモデムでさえ、最先端のコンピュータと、これに比べれば石器時代のものといえるような電話技術の間にある、何世紀もの隔たりを飛び越えるタイムマシンとなるのである。

モデムは軍需産業組織による陰謀、はたまた、さらに邪悪な権力である電話会社によって 画策された存在などではなく、デジタル信号とアナログ信号をつなぐ架け橋として、なくて はならないものである。また、最近のモデムは、これらを接続する以上の役割も果たしてい る。大部分のモデムは、高速かつ簡単に、そして自動的に使えるように、便利な機能が搭載 されている。最近の最も優れたモデムは、回線接続や接続状態をモニターするだけでなく、 接続そのものを改善してくれる。また、優れたモデムでは、人間の代わりに自動でダイヤル をしたり、リダイアルを繰り返す場合には、以前にかけた番号を記憶したりもできる。さら には、データを転送する際に、電気的な通信にどうしても入り込んでくるエラーを、内部の 回路により検知し訂正することのできるモデムも出てきている。

18.1 モデムの働きの原理

モデムは、コンピュータと電話回線のネットワークとの間で行う通信を取り次ぐ信号変換器である。
"MOdulator (変調器) - DEModulator (復調器)"
の頭の数文字を取った "MODEM (モデム:変復調装置)"はまさにその果たす役割を表わした名前である。たとえば、モデムは変調器として、コンピュータシステムで使われるデジタルで直流のパルスを、そこに含まれる情報はそのままにして、アナログ信号に変換するのである。このプロセスを変調と呼ぶ。

変調と復調

電話のシステムは、エレクトロニクスが生まれるより以前に設計されたもので、半導体によるデジタルの回路が出てくるのは、その100年も後のことである。変調というプロセスが必要になったのはこのためだ。ベル博士が発明した"喋る電報"から最初に発せられた言葉は、アナログの電気信号で構成されたものだが、現在使われている電話の原理はこのときと変わっていない。厳密にいえば、デジタルによる通信の方が歴史は古く、電報は電話より30年ぐらい前に発明されているのだが(1884年 Samuel F.B. Morse によって発明された)、現代のデジタル技術が生まれたのはごく最近のことである。

電話のシステムはアナログ信号だけを扱うように設計された。当時は、マイクロフォンから送られる信号を扱うだけだったからである。年月を経た今では、電話のシステムは精巧な国際ネットワークへと発展を遂げ、何百万ものアナログ信号を同時に扱うことができたり、1台の電話から世界中どこにある電話へでも切り換えができたりするようになった。電話会社は交換センター間を結んでいる、とても太いケーブルをデジタル式のものに変えつつあるが、かけたり受けたりする側の電話器は依然としてアナログ方式であり、少なくともまだしばらくはこれが続くと思われる。しかし将来的には、完全にデジタル化された電話システム

に接続できるようになるのは間違いない。ISDN がその最初のステップである。しかし、現在においては、我々はまだアナログ方式の接続しかできない。

このようなアナログ方式の電話接続では、デジタル方式の直流信号の通過はきびしく制限されるか、またはまったく不可能であるため、変調というプロセス、そしてモデムという装置が必要になってくる。変調のプロセスを経て、コンピュータに入っていたデジタルの情報はすべてアナログ信号に変えられ、これによって電話システムの音声しか通さないチャネルを通過できるようになる。

復調とは、変調の逆のプロセスのことである。 モデムは、接続の末端において、受け取ったアナログの信号を、自分の中で元のデジタル信号に戻す復調器としての役目も持っているのである。

キャリア

変調というプロセスでは、1つの信号をもう1つの信号の上に重ねていく。変調器としてのモデムでは、キャリア(搬送波)と呼ばれる連続信号を発生することから変調のプロセスが始まる。キャリアは変調によって情報を搬送することから、このように呼ばれている。大抵のシステムでは、キャリアは一定の振幅(強さ)と周波数を持ち、一貫した位相で、安定した状態の信号である。

変調

電気的にキャリアと混ぜ合わされ、キャリアの 位相を変化させる信号についても、前述のプロセ スと同じ変調という言葉が使われている。変調に よって生じる変化は、キャリアと変調を混合した 波の変化となる。変調による変化により、キャリア もそれに応じて変化するが、それは必ずしもキャ リアの波形が相似的に変化するわけではない。た とえば、周波数変調 (FM) では、変調の強さが変 化すると、キャリアの周波数が変化する。

変調には、信号を組み合わせた複雑な波形を調

整するほかに、いくつかの利点がある。電気回路では、特定の周波数のキャリアだけを受け入れて、ほかの周波数のものは拒絶することができるため、複数の変調された信号を、1つの通信メディアを通して送ることができる。この原理は、すべての無線通信や放送の基礎となっている。さらに変調によって、直流のデジタル方式の情報を、電話システムのような直流の信号を運べないメディアを通して転送することもできる。

復調のときにはキャリアは取り除かれ、コード 化された情報は元の形に戻される。復調は論理的 に見れば変調の反対のプロセスであるといえるが、 通常、復調では変調とまったく異なる回路や処理原 則があるため、モデムは複雑なものになっている。

短距離モデム

モデムと呼ばれているものの中には、実際には

モデムとはいえないものがある。価格の安い短距離モデムは、コンピュータとシリアルプリンタとの間の接続距離が延ばせるという触れ込みの装置であるが、最小限の回路は内蔵されているものの、信号を変調/復調することはできない。実際、短距離モデムはとても小く、その多くは簡単なケーブルコネクタのカバーに隠れてしまうほどの大きさである。短距離モデムを使ってできることといえば、コンピュータから出力されたデジタル信号を、ほかの形式のデジタル信号に変えて、1,000フィートもの長さのケーブルを通過しやすくすることぐらいである。短距離モデムと本当のモデムを混同してはいけない。短距離モデムは、公衆電話システム上では使用できないだけでなく、電話回線に接続することも法律では認められていない。

18.2 チャネルの限界

すべての芸術的ともいえる偉大な発明品と同じように、モデムも電話のチャネルというメディアの限界の中で働くことを強いられている。この限界は、アナログ通信の性質や、使用されている通信メディア(最初の頃はシールドされていないツイストペアケーブルが使われていた)によって否応なしに課されている。

信号の帯域幅

すべての通信チャネルとそこを通過する信号には、帯域幅と呼ばれる属性がある。帯域幅とは、単にチャネルが送信可能な、または信号に存在する周波数の最低値から最高値までの幅を指したものである。

変調前のキャリアの波形は、名目上の動作周波数を持っている。たとえば、ラジオ放送の名目上の周波数といえば、放送局にダイヤルを合わせるときの周波数ということだ。変調を加えない場合、キャリアの波形における周波数は1つしかなく、

帯域幅は基本的に 0 となる。

キャリアに加えられる変調には、ある割合で変化する情報が含まれている。たとえば、音楽や声の信号といった伝統的なアナログ信号から成るソースには、20Hzから20,000Hzまでの、ほとんど無作為に混合された周波数が含まれている。デジタル信号は帯域幅が0の直流信号が源になっているが、デジタル信号の状態の変化が、周波数の成分に追加される。転送速度が bps (bit per second)という単位で表わされることから分かるように、状態の変化が速ければ速いほど、より多くの情報がデジタルのチャネルに詰め込まれ、信号の占める帯域幅が広くなる。

側波帯

最も単純な変調システムでは、変調されたキャリアは変調信号の2倍の帯域幅を必要とする。この2倍というのは変に聞こえるかも知れないが、信号を組み合わせたことがその直接の理由である。

キャリアに変調を加えると変調波ができあがるが、この変調波の周波数は、キャリアに加算された変調周波数と、キャリアから差し引かれた変調周波数を合わせたものである。加えられた結果の周波数はしばしば上位側波帯(USB: Upper Side Band)と呼ばれ、これに対して差し引いた結果の周波数は下位側波帯(LSB: Lower Side Band)と呼ばれる。

変調波の上位と下位の側波帯は基本的に重複しているため(まったく同じ情報を含んでいる)、どちらか一方を除去して、情報を減らすことなく変調キャリアの帯域幅を変調の帯域幅にまで小さくすることができる。このように帯域幅を節約する方法は、単側波帯変調(SSB変調: Single Side Band Modulation)と呼ばれ、限られた電波スペクトラムに、より多くの信号を詰め込むことができるので、一般的に放送で使用されている。

しかし、側波帯を小さくして信号を詰め込むとはいっても、そこに含まれている情報を保持するために、変調信号はいずれもある一定の範囲の周波数が必要であるという、基本的な事実はそのままである。この周波数の幅によって、変調信号が必要とする帯域幅が決まる。

チャネルの帯域幅

通信チャネルの帯域幅により、搬送する信号の 周波数の限界が決まる。このチャネルの帯域幅は、 チャネルで使用されているメディアによって物理 的な制限を受けていたり、通信規格によって人為 的な制限を受けていたりすることがある。たとえ ば、無線通信の帯域幅は法律で人為的に定められ ているが、これによって、より多くの異なる変調 キャリアで空中の電波を共有できると同時に、そ れらの間で起こりうる混信を防止できるのである。

ケーブルを使う通信チャネルでは、帯域幅がケーブルそのものによって制限を受けることが多い。ケーブルが持つある種の物理的特性のために、ケーブル内で高い周波数の信号を伝送する力が弱くなってしまうのである。たとえば、2本のケーブルからなる伝導体の間には**静電容量**があるため、信号の周波数が高くなるにつれて、信号が減衰し、ついには数センチ先にも届かなくなってしまう。増

幅器や中継器を使用して、より長い距離の伝送ができるように試みられているが、周波数が極端に高い場合と低い場合には、これらを使っても伝送できないことが多い。

ほとんどの電話チャネルもまた、電話会社によって人為的に帯域幅の制限が加えられている。伝送ケーブルやマイクロウェーブシステム、衛星などが持つ機能の経済的メリットを最大限に生かすため、通常、電話会社によって電話信号の帯域幅が制限されているのは、一組の電話線で何百もの会話を同時に送信できるように、マルチプレクス技術を使って、たくさんの会話を重ね合わせているためである。また、同時にこの制限のために、電話ではステレオのような良い音質が出せない。電話会社の多重送信装置はたいへんよくできているため、通常は、このようにたくさんの声の信号を細い電話線に詰め込むとともに、音声信号を加工して伝送していることには気が付かない。

帯域幅の制限

電話会社では通常、電話チャネルの帯域幅を厳格に制限して、電話信号の加工を行っている。ステレオのシステムは20Hz~20,000Hzの周波数をいっぱいに使って、良い音質を実現しているのに対し、電話のチャネルでは300Hz~3,000Hzの周波数しか自由に通ることができない。電話の帯域幅はこれだけしかないのだが、300Hz以下の周波数は人間の声では強さの部分であり、明瞭さとはほとんど関係がないため、電話においては支障はない。また、3,000Hz以上の周波数があると音の歯切れが良くなるのだが、この部分がなくても一応明瞭には聞き取れる。

声を使ったコミュニケーションでは、ほとんどの場合、明瞭さが最も重要な要素となるのに対し、データ転送において最も重要なのは帯域幅である。普通の電話チャネルでは、帯域幅が比較的狭いため、送ることのできる変調信号は制限を受ける。これはいいかえれば、デジタル情報の場合も、モデムによって電話回線に詰め込むことのできる情報量は制限を受けるということである。

簡単な計算を行ってみると、モデムの信号を送る

際に厳しい制限を受けていることが理解できるだろう。電話のチャネルは、2,700Hzの帯域幅(300Hzから3,000Hzまで)が使用できるようになっている。電話チャネルの真ん中(1,650Hz)に位置するキャリアは、両側の側波帯から制限を受けており、せいぜい1,650Hzの速さで変化するデータしか搬送できない。この場合の信号は電話チャネルの全帯域幅を占有し、しかもそれにはセーフティマージン分は含まれていないのである。

シャノンの限界値

アナログの電話回線を通して送ることのできるデータの総量は、チャネルの帯域幅とそのチャネルのノイズレベルといった2つの要素により決まる。ノイズが大きければ大きいほど、情報はノイズに抵抗するのが難しくなる。このデータ転送率における論理的な最大値を「シャノンの限界値」(C.E.Shannon:アメリカの応用数学者)という。今日の双方向ダイヤル式電話接続方法では、理想的な状態であれば、この限界値は19,200bpsに達する。しかし、現実的な問題とモデムのハードウェアによって、実際のデータ転送率にはさらなる制約が課されている。

セーフティマージン

電話回線の品質は良いものから悪いものまで様々であるため、特に長距離接続の場合などは、セーフティマージンが必要となる。接続状態が悪い場合は、300~3,000Hzとされている電話の帯域幅の全部は使えないため、モデムがこの全範囲の周波数を利用しようとするのは浅慮である。接続状態の悪い場合に、モデムのデータ転送率が帯域幅の限界まで達していると、エラーが発生しやすくなるのだ。

全二重通信

モデムを使ったデータ通信のチャネルでは、使用できる帯域幅も制限を受けているが、これはモデムの通信が全二重通信(二重通信)モードで行われているからだ。全二重通信とは、通常は(必ずというわけではない)双方向へ進む2つの信号を、通信チャネルが同時に処理できる通信方式である。こ

の2つのチャネルを使用しているため、全二重モデムは同時に情報を送受信できるのである。データを同時に送受信するため、2本のキャリアが使われており、したがって当然のことながら、それぞれで使用できる帯域幅は全体の2分の1である。

半二重

全二重通信に代わる方式が半二重通信である。 半二重通信モードでは1つの信号しか使用されず、 双方向の通信ができるように、モデムは信号の送 信と受信を交互に行なっている。半二重通信モー ドでは、全二重通信より広いチャネル帯域幅を使 用できるが、実際に使用した場合、チャネルの中 をデータブロックが通るたびに送信と受信を交互 に切り換える必要があるため、通信速度は遅い。

エコープレックス

二重通信(デュプレックス)という用語は、誤ってエコープレックスと表記されることがしばしばある。エコープレックスとは、モデムがあるキャラクタを電話回線を通して送信すると、回線のもう一方の端にあるモデムが同じキャラクタをこだま(エコー)のように送り返してくることを指す。こだまのように送り返されたキャラクタは、最初に送った側の端末に表示され、そのキャラクタが正確に送られたことが確認できる。エコープレックスのない場合は、通常、ホストコンピュータが送信したキャラクタを直接モニタ画面に書き込んでいる。

保護帯域

全二重通信では、帯域幅を分割して、半分ずつを両方のチャネルで使用できるようにしているだけではない。チャネルを2つに分割している部分を保護帯域と呼んでおり、この使用されていない周波数の部分が、実際のチャネルを2つに分離し、それぞれのキャリア間での混信を防いているのである。また、このセーフティマージンは、キャリアと帯域幅の変動する境界との間の保護帯域にもなっている。

実際の電話チャネルでモデム通信を行う場合、 この全二重通信の保護帯域のことを計算に入れる と、もともとは 2,700Hz ある帯域幅は、実質的には約 2,400Hz が限界ということになる。つまり、

2 つあるチャネルは、それぞれ 1,200Hz ずつの割り当てになる。

18.3 モデムの変調方法

モデムが変調を行う場合、FM と AM のラジオ 局で変調方法が異なるのと同様に、いくつかの変 調方式が使用されている。変調方式の違いは、情 報をコード化するために変化を加えられるキャリ アの性質によって生じる。

変調に利用されるキャリアの基本性質は、振幅、 周波数、位相の3つである。

振幅変調

振幅とは、電話回線を通って搬送される信号の 強さ、または音の大きさのことである。キャリア の強さを変調によって変化させて、情報を送る方 式を振幅変調という。

デジタル情報を振幅変調でコード化する1つの方法としては、2つのデジタルの状態に対応して、信号の強さを2つ別々に作るというものだ。実際、振幅変調で最も初歩的な形のものは、キャリアウェーブまたは略してCWという特別な名前が付けられているが、コードに合わせて、最大と0というキャリアの強さの2つの限界値を用いている。電話信号の強さを変化させるのはきわめて簡単だが、同時に回線に入り込んだ雑音まで変化させてしまう。このため、モデムでは純粋な振幅変調というものは使われていない。

位相変調

キャリアの状態を変化させて情報をコード化するもう1つの方法として、位相を用いるものがある。変調前のキャリアは同じ波形がずっと同じ形で、1つずつ正確に続いている。ある1つの波形がちょうど1波長分ずれると、次の波形にぴったりと重なる。波形の山と谷の部分は一定の間隔で続いていくのである。

振幅や周波数は変化させずに波形の1つを遅ら

せると、位相偏移と呼ばれる検出可能な波形状態の変化が作り出される。この一定時間遅らせた波形の開始点を、もとの波形と比較して、もとのキャリア波形を数字の0へ、別の波形を1へ割り当てることによって、情報は位相変調という形でコード化することができる。位相変調の特別な形として直交変調と呼ばれる方式があるが、これは信号の位相を90°の単位で変化させる方法である。つまり、直交変調では、変調前のキャリアと比べて、位相の角度が0°、90°、180°、270°の率で異なるということだ。この変調方式はモデム通信において便利であるが、多くの場合ほかの変調方式と組み合わせて用いられる。

周波数変調

次にあげられる変調方式として、変調に合わせてキャリアの周波数を変えるというものがある。たとえば、変調信号の振幅を高くすると、キャリアの周波数も高くなるのである。この技術は周波数変調と呼ばれ、FM ラジオ局の放送で一般的に使用されている。

周波数偏移変調

周波数変調の最も初歩的なデジタルの形式では、デジタルの1を表わすために、キャリアの周波数を別の周波数へ変化させる。つまり、ある周波数はデジタルの1を表わし、これとは別の周波数がデジタルの0を表わすということだ。この変調方式は、周波数を偏移させて情報をコード化していることから、周波数偏移変調(FSK:frequency shift keying)と呼ばれる。名前の"key"の部分は、電信の時代、実際にこの変調方式がモールス信号を送るのに使われており、電信のキーをたたいて周波数偏移を行っていたことから付けられたものであ

る。周波数偏移変調は、一般的なモデムで最も初 歩的なタイプのものに使用されている。Bell 103 規格に沿って作られた 300bps のモデムがこれに あたるが、以前はどこででも見ることができた。

ボーレート

このようなモデムでは、1ビットのデータによって、これに対応するキャリアの周波数の変化が1 回発生する。周波数や状態が変化する度に、正確に1ビットの情報が運ばれる。1秒間に起こる状態変化の数を表すのに使われる計測単位が、ボー(baud)である。FSK変調の特別な場合では、1秒あたり1回の変化、つまり1ボーという単位で、正確に1秒に1ビットの情報が運ばれる。

通信システムに使用されている状態の数によって、1回の変化 (つまり 1 ボー) によって運ばれる情報が 1 ビットより少ない場合も多い場合もある。たとえば、いくつかの異なる周波数を持っている音が、コード情報に使用される場合などがそうである。1 ボーでは、ある周波数から別の周波数へ1回変化するが、その際ほかの変化も生ずることがあるため、1 ビット以上の情報がコード化されることもあるのだ。したがって、厳密にいえば、1 ボーと 1bps は別の単位ということになるが、これらの用語は誤って同じように使われていることも多い。

1ボーごとにコード化できるビット数は、使用できる状態(音、電圧、位相)の数の対数に反比例して変化する。大部分の1,200bps モデムは、4つの異なる状態を使用して600ボーで動作し、同様に、大部分の2,400bps モデムは、16個の異なる

状態を使用して、同じく600ボーで動作する。

"ボー(baud)"という用語に興味を持った人もいるかもしれないので述べておくと、これはフランス人で電信の専門家であった、J.M.E.Baudotの名前から付けられたものである。彼の名前はテレタイプのシステムで使用される5ビットのデジタルコードを表わすのにも使用されている。

FSKモデム

単純な FSK の技術を使用して 300bps の速度を出すためには、600Hz の帯域幅が必要である。この 300 ボーのキャリア 2 つ分 (600Hz の 2 倍で1,200Hz 必要)と、広い保護帯域は 2,700Hz の範囲にうまく納まる。

Bell 103 規格はほとんどの 300bps モデムが準拠しているが、キャリアの周波数は 2 つあって、1,200Hz と 2,200Hz である。スペース変調(論理0)では、キャリアを 150Hz 分下へシフトさせ、マーク変調(論理1)ではキャリアの周波数を同じ分だけ引き上げる。

FSK 変調の技術は比較的単純なため、300 ボーのモデムは一般に安い値段で購入できる。300 ボーのモデムでは、使用できる帯域幅の限界までは使用しないため、最低限の接続状態であれば一般的には信頼できる。

同じ単純な変調技術を使用して、普通の電話回線における 2,700Hz の帯域幅をもっと有効に使用することによって、モデムの速度を倍の 600 ボーにまで高速化することが可能である。しかし、これ以上に高速化するには、固定された帯域幅という障害が横たわっている。

18.4 高速モデム

データ転送率が 2,400bps を越えるモデムは、一般に高速モデムと呼ばれている。このモデムの特長は、データの量だけでなく質にもある。2,400bpsを越えると、より多くの情報を電話回線にむりや

り詰め込むことになるため、かなりの困難を伴う のだが、このため、低い転送率のモデムには見る ことのできない工夫を凝らした変調技術が必要と なる。

グループコーディング

データ通信においては、300bps という速度はモデムの中でもほぼ最低速といえるもので、画面を流れていくテキストをそのまま読むことができる程の速度である。最も低速のコンピュータでさえ、IBM がサポートしているシリアルポートの速度によって制限を受けても、最低この32倍は速く情報を吸収することができる。遠距離の通信で300bpsでしか接続できないような場合、情報は大陸をのろのろと這って移動しているようなもので、喜ぶのは電話会社の株主だけだ。

いくつかの変調技術を組み合わせることで、一般の電話回線を使っても、モデムはもっと速い転送率を達成できる。単に1つの方法でキャリアを操作するのではなく、一定の波形を2つ(またはそれ以上)の方法で変調するのである。たとえば、今日最も広く使用されている1,200bpsと2,400bpsモデムでは、周波数変調と位相変調を組み合わせて、より高速なデータ転送率を達成している。

このように変調方法を複雑に組み合わせても、 帯域幅が余計に必要になるということはなく(これは通信チャネルの機能であることを思い出してほしい)、様々なキャリアの状態の変化として多くのデジタルデータをコード化する上できわめて有効である。たとえば、キャリアは、4つの状態のうち1つの状態を帯びるように、位相変調を直交変調と組み合わせて変調させることができる。

この4つの状態によってモデムの速度が4倍になると期待されるかもしれないが、そのように直接的な関係にはなっていない。状態をデジタル情報に変換するため、モデムではグループコーディングと呼ばれる技術が使われており、この技術では、1つの状態で特定のパターンを形成するビットをコード化するのである。たとえば、異なる4つの位相の状態で、2つのデジタルビットから成る、異なる4つのビットパターンをコード化することができる。したがって、4つの状態を持つ直交変調の場合、ひとつひとつのボー(1回の変調)で、2ビットから成る4つのデータパターンをコード化できる、つまり、4つの状態で2つのビットをコード化するのである。このようにして、直交変調を使った600ボーのモデムでは、ボーレートを

2 倍にして 1,200bps として使うことができるというわけだ。

グループコーディングは変調技術を発展させる 1つの鍵となっている。データを一度に1ビット扱 うのではなく、デジタルコードのビットをグルー プとして処理するのだ。そして、データビットの グループひとつひとつは、キャリアのある特定の 状態としてコード化されるのである。

モードの最高速度はコード化に使用できる状態の数によって決まる。しかし、その関係は単純なものではない。コードにおけるビット数が何倍かに増えると(変調技術の潜在的に可能な速度も同じ数だけ倍に速くなる)、それに必要とされる状態の数は2をその倍数分だけ累乗した数になる。つまり、速度を2倍にするためには、4つの状態が必要になり、速度を4倍にするには、16の状態が必要であり、8倍の速度では、256の状態が必要となってくる。

データ転送率が 2,400bps の場合は、600 ボーで 16 の状態を使った直交変調より、ずっと複雑な変 調方法が必要となる。ひとつひとつの状態で、4 つのデジタルビットから成る、異なる 16 パターン のひとつがコード化される。電話回線における 1 ボーは、モデムへと入る 4 ビットの情報を搬送している。

システムが無意味に複雑な変調方法を取っている場合、そのシステムは欠点を持っているに違いない。高速モデムにおいて、データ転送率が高くなればなるほど、電話回線の問題は重大なものになってくる。さらに、モデムの速度が速くなると、回線が含む雑音によって余計な情報を生み出してしまい、1つのエラーからでも、すぐに大きな影響が出てしまうことがある。

リース回線モデム

モデムから高い速度をうまく引き出す方法として、厳しい帯域幅の制限を受けている接続(つまり電話回線)の一部を専用に使うという方法がある。品質の高い回線を電話会社から借りて使うことが可能で、これで2つの地点を結び、信じられないほど高速に(1万から数百万 bps といった速度で)データを送ることができる。この回線は半永久的

に設置され、2つの地点を直接結んでいるが、電話交換システムの苦難の道を通り抜けるという危険は冒さない。この特別な回線は月単位で(あるいは別の期間単位で)リースされていることからリース回線と呼ばれ、この回線で使用できるモデムのことをリース回線モデムまたは専用回線モデムという。このモデムでは普通、ダイヤル機能や応答機能が付いておらず、連続して接続され続けることを前提に作られている。

公衆回線モデム

一方、電話交換システムに接続する形の最も一般的なモデムを、リース回線モデムと区別して、公衆回線モデム(ダイヤル呼び出しモデム、ダイヤルアップモデム)と呼んでいる。公衆回線モデムは電話回線の厳しい制限を受けているため、そこでの問題や欠点をうまく処理する機能が必要である。しかし、回線の両端にあるこのモデムに互換性があれば、ほとんどあらゆる所へ誰とでも接続ができるため、一番便利なモデムといえる。

回線の補償

長距離電話をかけるとき、音声はずっと変わっていないように聴こえるかもしれないが、電気的な性質は一瞬ごとに変化している。たとえば、風が吹いてケーブルに影響が出た場合など、電話会社は自動的に回線のルートを変えたり、振幅、周波数、位相を変化させたりして回線を維持している。モデムでは、このような変化をデータと誤解しないようにすることと、回線が高速転送に使用できるような良い状態を維持するという2つの点が重要である。

スイッチングモデム

高速モデムを使った通信では、全二重モデムを使用した高速通信が最も大きな制限を受けるといえる。完全な二重モデムの回路は、基本的に2つの完全なチャネルであるため、各チャネルは電話回線で使用できる帯域幅の半分しか使用できない。しかし、ほとんどの場合、通信は一方向にしか進んでいない。リモートアクセスシステムに向けてコマンドを入力しても、探している情報について

応答があるのは、そのコマンドをシステムが受け 取ってからということになる。片方の端末からデー タを送っていても、もう一方では何もせずにいる わけである。

使用できる帯域幅を有効に利用するため、スイッチングモデムと呼ばれるものがある。このモデムは、電話回線の全帯域幅が利用できるように、どちらかの端末に信号を送る必要ができると、それに合わせて信号の進む方向を切り換えるようになっている。したがって、このモデムでは、変調方法を複雑にすることなくデータ転送率を2倍に高めることができるのだ。離れた場所にあるメインフレームにアクセスする場合では、両方の端末が交互に電話回線を使用しながらそれぞれの呼び出しプロトコルに合わせており、モデムを切り換えて使用することにより、2つの国を横断して通信できるほどのスループットが実現できる。

非対称モデム

しかし、スイッチングモデムは便利なことばかりとは限らない。通信方向の変更が瞬時に行えないことがその1つだ。スイッチングモデムでは、連続するデータの切れ目を聞き取って方向を変える方法しかなく、この切れ目を認識するために生ずる遅れが、データの流れの中にどうしても存在してしまう。さらに、通信方向が変わったとき、モデムは回線の違い(電話回線の接続状態は両方向でまったく同じとは限らず、2つの通信方向がまったく異なる通り道を採っている可能性もある)に対応して、それぞれに合わせる必要が生じる場合もある。これらに必要な時間を合わせると、方向を変える場合、まるまる1秒を消費することにもなる。

単に文字を送信したり画面上でレスポンスを見たりしている場合には、1秒という時間はそれほどわずらわしく感じることもないだろうが、1つのファイルを送るときなどは、いやになってしまうこともある。ほとんどのファイル転送プロトコル(例: XMODEM、Kermit)では、データを小さなブロック単位にして、離れた場所のシステムに送るように設計されている。そこでは、データを正確に送信できるようなチェックがなされてお

り、ブロックが送られた後に、データがエラーなしで送信できたか、またはエラーがあったかを示すメッセージを送り返す仕組みになっている。スイッチングモデムでは、方向の転換やエラーの確認をするために、1秒、またはそれ以上の時間を要することもある。このようなプロトコルでは、エラーチェックの合間に、256バイトまたは512バイトの短い長さのブロックで送信しており、大急ぎでブロックを送信しては、チェックのために送信を止めるということを繰り返して1つのファイルを送るのである。モデムでは、何行かに渡るブロックを送信し、その後、その送信時間よりずっと長い時間をチェックのために費やしているのである。

非対称モデムでは、高速のチャネルだけでなく 低速のチャネル (通常は 300 bps) も設けて、片方 向だけの速度を最適化する一方、2 つの技術の良 い点を合わせて、双方向二重通信のような方式を とって、この待ち時間を短縮している。スイッチ ングモデムと同様に、非対称モデムでも高速通信 の方向を切り換えることができ、切り換えについ ては、どちらの方向を選択すべきかについてのア ルゴリズムに従っている。一般に、高速チャネルは データのブロックを送るのに使用され、低速チャ ネルはこれより速度が遅くてもよいチェックのた めに使用されている。この機構が使われている例 として、FAX モデムがある。

フォールバック

二重通信を行う場合、大抵のモデムで使用されているキャリアは多くて2本である。このキャリアは普通、使用できる帯域幅のいっぱいまで変調されている。しかし電話回線で、モデムが望むだけの帯域幅で通信すると、信頼性に欠ける場合もある(エラーが出やすくなることがある)。このような場合、大部分のモデムでは、フォールバック機能を働かせている。一番速いスピードで使えない場合、通信速度を落として、電話回線の状態が悪くてもなんとか使用できるようにしているのである。両端末のモデムが最初に9,600bpsで通信しようとしてうまくいかなかった場合には、次に4,800bpsで接続を試み、それでもうまくいかない

ときは 2,400bps という順で、信頼に足る通信ができるように速度を変化させている。

多重キャリアモデム

大部分のモデムでは、高速な通信速度を得るた めに、変調において1本または2本のキャリアを 使用して、比較的複雑な方法を用いているが、最 新のモデムの規格である多重キャリアモデムが現 れたことで、今までの概念は歴史的事実として渦 去へと追いやられた。多重キャリアモデムでは、 同時に数本のキャリア上の信号を比較的単純な方 法で変調している。接続状態が悪くなった場合に この方法が有利になってくる。多重キャリアモデ ムでは、フォールバックのように通信速度を落と す(通常、半分の速度にする)ことはせず、帯域幅 中で疑わしい部分にあるキャリアの使用を停止す るという方法を採っている。この場合の通信速度 は、調整時間のために数パーセント低下するだけ である(普通のフォールバック機能付モデムでも、 速度変更の調整時間によって速度は低下する)。

データ圧縮

電話回線で送り込む情報のビット数を、チャネルの容量を超えて増加させることはできないが、各ビットにより多くの意味を持たせる(より少ないビット数で1つの情報を表わす)ことにより、モデムの回路の情報処理能力を増加させることが可能である。通信のチャネルを通して送られる各ビットの多くは、無意味であったり、重複したものであるため、運べる情報量には限界がある。しかし、この価値のないビットを取り除くことで、送られるデータの情報内容はより密度が高くなり、ビットはより意味を持つようになる。この余分なビットを削り落とすプロセスをデータ圧縮という。

データ圧縮の効率は、送られるデータの種類によって異なる。最も良く知られているデータ圧縮の方法では、同じバイトが8つ続く場合、2バイトでコード化する。1つ目のバイトで数値を表わし、2つ目のバイトでそれがいくつ続いているかを表わすのである。この形式のデータ圧縮は、グラフィックデータにおいて最も効果があるが、これは、グラフィックデータがテキストの繰り返しか

ら成るたくさんのブロックで構成されていることが多いためである。ほかの圧縮方法には、スタートビット、ストップビット、パリティビットを取り除くものなどがある。モデムメーカーがよく、自社独自の圧縮方法ならビット数を50%も大幅に削減でき、通信速度を2倍に高めて効率を上げることができると主張している。

データ圧縮が行われる場所は、必ずしもモデムの内部だけに限定される必要はない。たとえば、データをモデムへ送る前に、コンピュータ内部でファイルを圧縮することもできる。ファイルを半分のサイズに圧縮すると、ファイルの送信時間も半分になる。ファイル圧縮は、ファイルのデジタルコードの無駄な部分を削除し、最初のファイルサイズの数分の1にまで圧縮するものである。もとの内容はちょうど乾燥スープのように、簡単に保存でき、必要に応じてもとに戻すことができる。

記憶装置の容量を増やしたい場合にも、データ 圧縮を利用することができる。プログラムを販売 している会社では、データ圧縮を使って使用する フロッピーの容量をおよそ2倍にすることで、販 売にかかるコストを減らすことができる。また、 ハードディスクの容量が足りなくなっているユーザーも、ハードウェアをアップグレードする代わりにデータ圧縮を使用すれば、数千ドル必要なところが数ドルですむのである。データ圧縮のプログラムはほとんどすべて、複数のファイルをアーカイブファイルと呼ばれる1つのファイルにまとめることができ、どのファイルがどのアーカイブファイルに入っているかチェックできるようにユーティリティファイルを提供する(オプションのこともある)。

記憶スペースが貴重な場合や、データ転送の時間を短くしなければならないようなケースでは、ファイルの圧縮は普通に使用されるようになっている。たとえば、電子掲示板では、ほとんどのファイルがアーカイブで登録されており、登録する場所を最大限有効に使う工夫がなされている。アーカイバによる圧縮データを初めて利用したのは、電子掲示板を通してデータが供給されるシェアウェアだった。シェアウェアは供給されるときは無料だが、継続使用や商業使用の場合は、相応のライセ

ンス料を支払う必要があった。このようなシェアウェアの作者は、その良さが口コミで宣伝されるのを期待していたわけだ。電子掲示板のオペレータやユーザー以外の人々にも、ファイル圧縮プログラムの便利さが知られるようになるとともに、ソフトウェア会社もファイル圧縮プログラムのサプライヤとして名を連ねるようになっている。彼らは、可能な限り圧縮率を高めるアーカイブ用ユーティリティを開発することで、主流の動きに参加すると共に、特定のアプリケーションソフトに合わせた圧縮プログラムの作成も行っている。

System Enhancement Associates の開発した「ARC」は、電子掲示板において最も広く受け入れられた最初のファイル圧縮プログラムであった。ARC は 1985 年に紹介されて以来、何度となく改訂を繰り返し、シェアウェアとして供給され続けてきた。ARC には 2 種類の圧縮方法があり(連続するキャラクタの圧縮とダイナミックな LempelーZiv 圧縮)、ファイルによって最も効果的な方が使用される。ARC を使った圧縮ファイルは、そのファイル名の最後に、".ARC"という拡張子が付く。

多くの電子掲示板では、競合製品である PKware Inc.の「PKzip」の出現により、ARCが 使用されなくなってきた。その理由は様々で、SEA 社が法に訴えて (商標問題) PKware 社に対抗しよ うとした態度に対する反発であったり、PKzipの 方がより高速で、圧縮率もよく、用途が広いとの 判断からであったりする。ARC と同様に、PKzip もシェアウェアとして供給されている。

データ圧縮に使用するアルゴリズムは、圧縮プログラムによって異なり、多種多様な方法の中から、それぞれが特定の技法を用いてファイルを圧縮を行っているため、必然的に圧縮後のファイルのフォーマットは異なる。圧縮プログラムによっては、ファイルの圧縮フォーマットに互換性があるものもあるが、圧縮ファイルがほかのプログラムで解凍できるという保証はない。

注意しなければならない点は、ファイルは一度 圧縮されると、さらにそれ以上圧縮することはで きないということである。したがって、モデムに 圧縮機能 (MNP5、v.42bis など) が内蔵されてい る場合、前述のような圧縮プログラムでもう一度 圧縮するということはできない。実際、MNP5を使って圧縮済みのファイルを送信しようとすると、MNP5を使わない場合よりも送信時間が長くかかってしまう。このように、圧縮プログラムのソフトウェアは、モデム側のデータ圧縮を補うものではなく、どちらか一方を選んで使用するものである。

エラーチェックとエラー訂正の方法

高速モデムを使う場合、電話チャネルのほぼ限 界まで使用しているため、必然的にデータエラー が発生しやすくなる。この問題に対応するため、 高速モデムではほとんどの機種がエラーチェック 機能(送信時のエラー検出のみ)と、エラー訂正機 能(エラーを検出し、コンピュータへ入る前に誤り を訂正する)を搭載している。このエラーチェック やエラー訂正の機能は、通信プロトコルのように 働き、データをいくつものブロックにグループ化 して送信すると同時に、CRC(巡回冗長検査)用の 情報を送信している。これらの機能を通信ソフト で使用するプロトコルと比べると、ソフトウェア 側ではなくハードウェア側で実現されているとい う点が異なっている。これは、コンピュータがシ リアルポートの限界であくせくしているときに、 さらに余計な負荷がかかるというわけではないと いうことだ。

またこれは、ソフトウェア側のプロトコルはモデムの持つ機能と重複しており、時間の無駄であるということも表わしている。スイッチングモデ

ムのケースで述べたように、ソフトウェアベースの通信プロトコルは、多くの高速モデムでは逆効果になって、転送速度を低下させてしまうことがある。エラーチェック機能の付いたモデムのメーカーのほとんどは、このようなソフトウェアベースのプロトコルを使用しないようにアドバイスしている。

モデムのエラーチェックやエラー訂正の機能を使う場合、両方の端末で、まったく同じエラー処理のプロトコルを使用する必要がある。実際、2つのモデムを通信させるために、多くの標準規格が開発されている。今日、最も広く使用されている標準規格は「MNP4」と「v.42」で、これらについてはこの後の項で説明することにする。また、「LAPB」や「LAPM」という2つの略語も、エラー処理の方法を表わした用語としてときどき目にしているはずだ。

LAPBとは、Link Access Procedure, Bal anced の頭文字を取ったもので、このエラー訂正プロトコルは、Telebit や Tymnet などのような、X.25 パケット交換サービスのために設計されたものである。一部の高速モデムメーカーは、v.42 の規格が認められる前は、公衆回線モデム用にこの規格を採用していた。たとえば、Hayes Microcomputer Products の「Hayes Smartmodem 9600」には、LAPB のエラー制御機能が搭載されている。

LAPM は Link Access Procedure for Modems の頭文字を取った略語で、CCITT v.42 規格に使用されたエラー訂正プロトコルである。

18.5 モデムの規格

人間もモデムも単独では生きてゆけない。どちらも自分以外のものとコミュニケーションをはかり、互いに考えを共有しなければならない。モデムが1台しかなければ、ちょうど地方新聞の編集者に手紙を送るようなもので、二度と目に触れる(耳にする)ことのない未知の莫大なアナログデータを送るだけということになる。

しかし、2台のモデムがあっても、それで十分ということにはならない。人間と同じで、相手の言っていることが理解できるように、モデム同士は同じ言葉で会話をしなければならない。変調はモデムの言葉の1つである。さらに、モデムはお互いが使用しているエラー訂正機能やデータ圧縮の手順を理解し合う必要がある。モデムが人間と

違うところは、人間が、方言などのように、1つの言語として境界が多少曖昧な言語まで含めて使っているのに対し、モデムの場合は、人間の言語よりはるかに正確で厳密な言語を使っていることにある。モデムには、人間でいえば "フランス語教室"のような、標準規格の組織を持っている。

米国では、最初の標準規格は、コンピュータ通信業界における最も大きな権力である電話会社によってかなり昔に定められている。つまり、AT&T とBell System が、「Bell 103」や「Bell 212A」などで知られる様々なBell 規格を設定したのである。その後、Bell System は分割され、AT&Tへ吸収されたり、地域ごとに運営する7つの会社(Baby Bells:この状況は"AT&Tと7人の小人"に例えられている)へ形を変えた。これにより、長距離通信の分野はAT&Tの独占となった。また同時に、驚くにはあたらないが、ほかの国々でもコンピュータ通信への関心が高まっていった。

このようなコンピュータ通信における発達の結果として、規格設定は AT&T の手から国際標準機構である CCITT (国際電信電話諮問委員会: 仏語の Comite Consultatif International Telegraph and Telephone et Telephoneiqueの略。英語では International Telegraph and Telephone Consultative Committee) に移った。今日の高速モデムに使われる規格はすべて CCITT によって勧告されており、近い将来までこれが続くだろう。 CCITT 規格には、v.22bis、v.32、v.32bis、v.42、v.42bis などがある。

これに伴い、モデムおよびソフトウェアのメーカーである Microcom は、MNP4、MNP5 などの、"MNP"の文字を頭に記した一連の規格を開発した。MNPとは "Microcom Networking Protocol"の頭文字を取ったものである。

モデムを購入する際に、規格は重要なポイントとなる。購入しようとするモデムが世界中のほかのモデムとうまく接続できるかどうかは、規格によって確認するのが最も適切であるからだ。さらに、データ転送の速さや信頼性は規格によって異なる。どのような通信を望んでいるかによって、モデムの種類を選ぶ必要がある。会社間でファイルのやりとりをするだけなら、規格外のモデムで

も十分で、余裕があるなら速度の速いものを選べばよい。しかし、世界中を相手に通信をする場合は、国際規格に合ったモデムを選ぶ必要がある。以下の項で、最も良く知られているコンピュータ用モデムの規格を説明する。

Bell 規格

Bell 103 はモデムの規格を説明する際に、まず最初にあげられる規格である。これは、アルファベット順で先にあるからではなく、最初に広く採用された規格であるためだ。また、この規格は、ほかのどの規格でも通信できなかった場合に、最後の手段として使用される規格でもある。Bell 103でのデータの転送速度は非常に遅い。前に述べたように、Bell 103では、非常に単純な FSK 変調(周波数偏移変調)が使われており、ボーレート(信号の変調速度)がデータ転送率と等しくなる唯一の規格である。

Bell 212A は、米国内において広範に適用されることを目的に、Bell 103 に検討を加えて設定された次なる段階の規格である。この規格では、周波数変調を行われた600 ボーの信号に、さらに直交変調を加えることにより、1,200bpsのデータ転送率が達成されている。したがって、Bell 212A モデムは600 ボーで動作し、1,200bpsの転送速度で情報を送るのである。Bell 212A は、一時は通信規格として米国で最も広範に使用されたが、国外の多くでは使用は禁止され、代わりに国際規格である v.22 のほうが用いられている。

MNP 規格

MNP (Mocrocom Networking Protocol) は、設定が完全に階層化されている規格であり、MNP クラス 1 (現在では使われていないエラー訂正プロトコル) に始まり、MNP クラス 10 (接続状態が悪くても、最大の転送性能が発揮できるような設計)まである。MNP はその規格だけでは成り立つことができず、ほかの規格に準拠したモデムに組み込まれるものである。MNP 規格は、転送率ではなく、その技術によって階層化される。MNP クラス 2 からクラス 4 までのエラー制御方法は一般に公開されている。また、クラス 5 からクラス 10

までは、モデムについて多数の操作パラメータが 含まれており、Microcom よりライセンス公開さ れている。

MNP2 は全二重通信ができるものならば、どのモデムにも組み込むことができる。MNP2 では、受信側のモデムに各キャラクタをエコーバックさせることで、送信された各バイトを確認する仕組みになっている。これにより、送信側のモデムは、送信したものと送り返されたものを比較し、送信中にエラーが発生しなかったかを確認することができる。当然のことではあるが、このようにデータが行き来することで、転送率は MNP2 を使用しないときの半分に落ちる。

MNP3 は MNP2 を改良した規格で、非同期で通信を行っていたクラス 1、2 から変わって、同期通信に対応している。この結果、各バイトにスタートビットおよびストップビットは必要なくなり、データ転送時のオーバヘッド (エラー制御のために付加するビット)を 25%以上削除することを可能にしている。 MNP3 モデムは、 MNP3 モデム間は同期方式でデータを交換しているが、 PCとの接続には非同期データリンクが使われているので、通常の(非同期の) RS-232 シリアルポートに接続できる。

MNP4 は基本的にはエラー訂正プロトコルで あるが、同時にデータ圧縮の機能も持っている。 MNP4には2つの革新的な技術が取り入れられて いる。このプロトコルでは、モデムはデータをブ ロック単位でひとまとめにして、送信時にはこの 単位ごとにエラーチェックを行うのであるが、この 場合に使用される適応パケット化機能は、回線の 状態や品質によってパケット(1回に送るデータの まとまり)の大きさを変化させることができる、適 応性に富んだ機能である。もう1つの技術である データフェーズ最適化機能は、回線上を行き来す るデータから、重複している制御データを取り除 いて転送の高速化をはかるものである。これらの 技術によって、モデムのスループットは元の転送率 の 120%にまで高速化される。 つまり、 MNP4 を 使用すると、1,200bpsのモデムなら1,450bpsの スループットを持つことになるのである。多くの モデムが MNP4 を搭載している。

MNP5 は純粋なデータ圧縮プロトコルであり、いくつかの種類のデータを、転送に時間がかからないような形に圧縮する。MNP5では、データを最大2分の1にまで圧縮することができるため、実質的にはデータの転送率を2倍にする効果がある。しかし、データの種類によっては(すでに圧縮されているファイルなどの場合)、転送時間が実際には増加する場合もある。

MNP6 はデータ圧縮とは別に、回線の状態に合わせてモデムが最高の性能を発揮できるような設計がされている。MNP6 モデムでは、ユニバーサルリンクネゴシエーションと呼ばれる技術を用いて、最初は低速で通信を開始し、その後、回線の状態を見きわめてから、より高い速度へと移行させていく。また、MNP6 には、統計的二重化と呼ばれる技術も使用されており、これによって半二重モデムを全二重モデムのように使うことができる。

MNP7では、MNP5よりも効果的なデータ圧縮アルゴリズム(ハフマン符号化方式)が使われており、データによっては3倍のスループットが得られる。

MNP9 (MNP8 は存在しない)では、一般的なモデム動作に必要とされる転送上のオーバヘッドを減らすように設計がされている。この場合、各データパケットがうまく送信できたかを知らせる信号は、別に送るのではなく、次に送信されるデータパケットと一緒に送るという形で合理化されている。また、MNP9には、再送信しなければならない情報を最小限に抑えるという機能もある。ほかのエラー訂正プロトコルでは、エラー検出後再送信する場合、すべての情報を再送信する必要があったが、MNP9では、エラー検出時にその発生場所まで明確にできるため、エラーがあった場所だけ再送信すればよいのである。

MNP10は、移動体通信など回線の状態が悪い環境での通信用に開発された、アドバースチャネルエンハンスメント(Adverse Channel Enhance ments)という言葉で表わされる一連の技術で構成されたプロトコルである。MNP10では、最善な形でデータ転送をするための様々な試みがなされる。たとえば、回線の状態によってデータパケットの大きさを変化させたり、信頼性を維持した上

で最高の転送速度が出るように通信速度を調節したりする。この規格を使用すれば、セルラー電話などの自動車電話でもモデム通信が実現される。

CCITT 規格

CCITTの v.22 は、Bell 212A と同等の規格で、600 ボーで1,200 bps の転送速度を提供するものである。実際 v.22 では、Bell 212A と同じ変調方式が用いられている。しかし、接続方式は Bell 規格と異なるため、互換性はない。いいかえれば、Bell 212A と v.22 は同じ言葉で話しているのだが、お互い会話を始めようとしない、ということになる。両方の規格をサポートし、それぞれの切り換えができるモデムもある。

v.22bis は、米国と欧州の両方で一般的に使用され、真の世界規格と呼べる最初の規格であった。v.22bis では、単純な直交変調と振幅変調を組み合わせた、トレリス変調と呼ばれる変調方式を使用しており、600 ボーで 2,400bps の転送速度を達成している。各ボーには 16 の状態があり、4 つのビットのどのようなパターンもコード化できる。それぞれの状態は、変調前のキャリアに対する位相関係と振幅(強度)の2つで区別される。つまり、v.22bis では、4 つの位相と 4 つの振幅がはっきりと分かれており、それらを組み合わせて 16 の状態を作り出すことができるのである。

v.32 は高速全二重通信用の国際規格で、4,800bps と 9,600bps のデータ転送率が可能である。低速で通信する場合は、Bell 212A とよく似た直交振幅変調が使われているが、最高のボーレートは 2,400 ボーである。9,600bps の場合は、v.22bis とよく似たトレリス変調が用いられているが、2,400 ボーで、v.22bis 以上の位相と振幅の幅を持っている。

ほとんどの Group III FAX とモデムは 9,600bps で動作するが、9,600bps の FAX モデムが v.32 規格と互換性を持つとは限らない。古い FAX モデムには、v.32 と互換性がないものもあるので注意が必要だ。

v.32bis は、v.32 の規格が 14,400bps にまで拡張され、v.32 が持つ 4,800bps、9,600bps の速度に加えて、フォールバックにより 7,200 bps、

12,000bpsという中間速度も出すことができる。これらの速度がすべて 2,400 の倍数になっていることに注意してほしい。 v.32bis にはあるが v.32 にはない動作速度は、変調の際に異なった範囲の位相や振幅数を用いても作り出すことはできない。

v.32bisでは、14,400bpsでの1ボーにつき、位相や振幅で128の異なる状態を作ることができるため、1ボーにつき7ビットのデータをコード化できる。ほかのデータ転送率においても(v.32の場合も含む)、データのコード化では同様の関係がある。あまりにも多くの位相や振幅数の違いが一箇所に押し込められているため、電話回線の状態がほんの少しでも変化すると、その影響で転送エラーが発生することになる。そのため、このようなエラーを検出し除去する方法が、転送速度が上昇するに従って重要になってくる。

v.fast (仮称) は、CCITTにより開発されている新しい規格で、1994年6月に「ITUT V.34」として正式勧告される予定だ。構想段階では、データ圧縮なしで28,800bpsの転送速度を持つ公衆回線通信が可能ということである。

v.42 は世界中で使われているエラー訂正規格 であり、v.32、v.32bis やほかのモデム通信の信頼 性を高めることができるように設計されている。 v.42 では、代用のプロトコルとして MNP4 の規 格も組み入れている。つまり、v.42は MNP4 の モデムと通信できるが、その2つを接続した場合、 性能の高い v.42 のエラー訂正プロトコルを使うこ とはできないわけだ。接続時に両方のモデムが交 信し、MNP4を用いるか、または v.42 が使用で きるかを v.42 側のモデムが決定する。 v.42 が使用 できればそれを使用し、MNP4は2番目の選択肢 ということになる。いいかえれば、v.42のモデム では、最初に v.42 で接続できるかを試し、それに 失敗した場合は、MNP4で試してみるということ だ。MNP4でも失敗した場合は、エラー訂正なし で通信を試みるようになっている。

v.42bis は CCITT によって承認されたデータ 圧縮プロトコルである。MNP5 や MNP7 とは異 なると同時に互換性もないが、一層の効果をも たらす規格である。データの種類によっては、最 大1/4まで圧縮が可能で、モデムの転送速度を 4 倍にできる (コンピュータで可能な最大転送率は、シリアルポートによる制限を受けるため、通常 38,400bps である)。 v.42bis 規格のみに従ったモデムは、MNP5 のみに準拠したモデムとは通信できないことに注意してほしい。 v.42 のモデム

は、MNP5とは異なり、"圧縮不可能"なデータの 転送時間が増加することはけっしてない。このため、最悪の場合でも、圧縮しないときと同じ時間 でデータを送れる。

18.6 全デジタルダイヤルアップ通信

今日のモデムの規格も、コンピュータ間通信の次のステップである全デジタルダイヤルアップ通信へと徐々に移行していくであろう。世界を結ぶ電話交換機をつないでいる回線は、ほとんどがデジタル化されているからである。唯一原始的なのは、交換機から家庭や会社を結んでいるアナログ回線(専門家の間では、POTS: Plain Old Telephone Service と呼ばれている)だけである。過去10年間にわたり、この旧式の接続方法を用いて、デジタルデータを送るための努力がなされ、公衆回線モデムの転送率は、300bps から38,400bps にまで高められたが、ここまでが限界である。

今後も電話で話をすることに変わりはないだろ うが、電話の接続方法は最終的には変わるかもし れない。各家庭の接続方法にも最終的にはデジタ ル技術が及んでいくはずだ。実際、米国やそのほ かの国々の多くの地域では、地元の電話会社に特 別なデジタル回線を引いてもらうことができ、す べてデジタルの交換システムにつなげられるよう になっている。このデジタル回線では、今までの 電話と同じように会話ができるだけでなく、当然、 デジタルデータのやりとりも可能となるが、その 操作は電話をダイヤルをするぐらい簡単なものだ。 現在、少なくとも3種類のデジタル回線サービス が多くの地域で使用できるようになっている(また は間もなく使用可能となる)。この3種類のサー ビスは、SDS 56、ISDN、SMDS という略称で知 られている。後々は、あなたのコンピュータもこ のうちのどれか(またはその後継の規格)に接続す るようになるだろう。

SDS 56

SDS 56(Switched - 56 と呼ばれることもある)とは、Switched Data Services 56 の略で、電話会社によってはいくつかの交換機ですでに使用しているところもある。この規格では、1 つのデジタルチャネルで、毎秒 56K ビットのデータ転送率を達成している。SDS 56 の信号は、現在電話回線で使われているのと同じ、従来型のツイストペアの銅線を使った配線を通して送られる。コンピュータと接続するには、モデムと同じような特別な前後処理装置をコンピュータに取り付ける必要がある(この装置は v.32 型モデムと同じ位の値段である)。当然のことだが、信号がデジタルのままであるため、変調や復調の必要はなくなる。また、信号が送られる途中でエラーはまったく発生しない。

地域によっては、普通の電話回線と比べて、SDS 56 もそれほど高価なものではなくなってきている。しかし実際は、設置費用がかかることと、電話会社によっては、通常のダイヤル呼び出し料金のほかに、月間メンテナンス料を別途請求しているところもある。

SDS 56 を使用するためには、コミュニケーションをする相手方にも SDS 56 を使ってもらわなければならない。現在のところ、SDS 56 は国際規格としては認められていないため、通常の電話回線によるモデム通信の場合とは異なり、全世界的とはいえない。SDS 56 に接続する場合の一番のメリットは、高速で信頼性が高く、データが完全なままで転送できるということだ。

ISDN

ISDN とは、Integrated Services Digital Net work (サービス統合デジタル通信網) の頭文字を取ったものであるが、冗談で"I Still Don't Know" (私はまだ知らない) や"It Still Does Nothing" (まだ少しも役に立っていない) の略だと説明する人たちもいる。ただし、"役に立っていない"という点については、ISDN は長い間議論がなされているのにもかかわらず、その可能性をほとんど示していないため、もっともな冗談ではある。

家庭や会社用に ISDN を導入するにあたっての 青写真が、すでにたくさん作られてきたことから も分かるように、問題は、実際に使用される前から ISDN の存在がよく知られていたということだ。 ISDN は世界中でサポートされている規格で、現 在使われているアナログの電話回線は次第に、こ の ISDN へと変っていくことが約束されている。 ISDN の猛攻撃には弾みがつきつつある。実際、 1994年の末までには、米国における半分以上の電 話回線は ISDN へ接続する予定である。

SDS 56 と同様に、ISDN は、すでに家庭や会社をつないでいる、銅製のツイストペアワイヤがそのまま利用できる。1つのアナログ信号に代わり、ISDN ではデジタル信号のチャネルが3つある。2つのBチャネル(BearerのBを取ったもの)は、どのような種類のデータ(デジタルコード化された音声、FAX、そのほかいろいろ)も、64,000bpsで送ることができる。また、D(Delta)チャネルは16,000bpsの速度を持ち、制御信号を送るのに使用したり、第3のデータ送信チャネルとして使用することもできる。この3つのチャネルは、ISDNのシステムを通して、それぞれ独立して異なる方向へ進むことができる。

ISDN の配線が 1 本あれば、圧縮していないデータを双方向に 64,000bps で送信できる。この場合、現在の全二重モデムとまったくよく似た方法で通信を行うのだが、デジタル回線のため、高速でエラーのない転送が可能である。さらに、このように双方向で高速通信をしている間も、D チャネル

では、別の機能を使うことができる。

ISDN の特徴としてキーポイントになるのが、今日一般的なツイストペアの電話線がそのまま使えるということだ。ユーザーも電話会社も、デジタル回線に切り換えるために、何十億ドルもの資金をかけて電話線を敷設し直す必要はない。それどころか、現在はほとんどが差し込み式基板になっている電話交換機を、電話会社の中でアップグレードするだけで ISDN へ切り換えることができるのである。

もちろん、思ったほど簡単ではない面もある。 ISDN へ移行する場合に一番の障害となるのは、 技術的なことよりも経済的なことである。 交換機 は減価償却の期間が長いため、電話会社にとって は、必ずしもよい商売とはいえないのだ。

しかしながら、ISDN に加入しても、手持ちのコンピュータをそのまま回線につなぐことはできない。ここでもやはり、コンピュータを ISDN へ接続するためのインターフェイス機器が必要になる。接続しようとする装置を ISDN 回線に合うようにすると同時に、その装置が ISDN アダプタと呼ばれる装置を使用しているほかの機器を損なわないようにする必要がある。ISDN アダプタには、アナログポートが付いているものがあり、現在使っている電話を ISDN に接続することもできる。このアダプタは、ISDN がすでに使われている地域では入手できるようになってきた。

SMDS

データをもっと高速に転送したい場合は、Switched Multimegabit Data Service (SMDS) (地域高速交換サービス)を選ぶこともできる。SMDS は作られてからまだ間がないため、国際 規格にはなっていないが、徐々に市場へ参入しつつある。政府の庁舎間を、1.45Mbps というデータ 転送率をサポートしたダイヤルアップ方式でリンク させたという例もある。ほかにも、1.2M~30Mbps までの転送速度のシステムが試みられている。

18.7 モデム制御

モデムには、デジタルのデータを変調して音声信号に変えるという本来の目的のほかにも、様々な役割を果たすことができる。たとえば、自動的に電話を呼び出したり応答したり、電話回線の状態をリポートすることもできる。このような機能を使うためには、モデムをコンピュータの側から制御する必要があり、同時にモデムはコンピュータに対し、行っている内容と判明したことについて、信号を送らなければならない。

デュアルモード

ほとんどのモデムは、2つあるモードから1つを交互に選んで作動している。コマンドモードでは、モデムはコンピュータから送られた命令を受け取り、実行に移している。通信モードでは、モデムは単にデータを変換しているだけである。

モードを変える場合、大抵はモデムへ制御キャラクタを送ってやればよい。この制御キャラクタは、コマンドモードのとき以外では、受信されることも処理されることもできない。通信モードで使用しても、電話回線を通り抜けて行ってしまう。

コマンドモードから通信モードへの移行は簡単 にできる。モデムはすでにコマンドを扱っている 状態にあるため、そこにまたコマンドを与えるだ けで通信モードに移れる。逆に、通信モードからコ マンドモードへ移行する場合は厄介である。通信 モードでは、モデムは受信したデータをすべて電 話回線へと中継する。通信モードからコマンドモー ドへ移行させるための、最もよく知られた方法と して、保護期間を使う方法がある。保護期間とは、 データが送信されていない短い合間の時間のこと で、その間に制御キャラクタを送って、通常の通 信には現われないようにするのである。このモー ド切り換え方法は、モデムメーカーの Hayes Mi crocomputer Products (創立者の Dennis Hayes の名前から付けられた)が特許を取得しており、こ の方法を使用したモデムを作る場合は、ライセン ス契約をしなければならない。ほとんどのモデム では、1秒の保護期間と、コマンドキャラクタシーケンスとして3つのプラス記号(*+++*)を使用している。

ヘイズコマンド

今日使われているほとんどのモデムでは、規格化された命令体系であるヘイズコマンドセットが使用されている。ヘイズコマンドは、Hayes 社が自社のモデム用に開発したものである。ヘイズコマンドセットは、2文字のキャラクタ(アテンションキャラクタと呼ばれる)で始まる数十種類のモデム用のコマンドで構成されており、ほとんどすべてのコマンドの頭には"AT"の文字が付いていることから AT コマンドとも呼ばれている。この呼び方は、特に Hayes 社のライバル会社が Hayes社の宣伝になるような"ヘイズコマンド"という呼び方に抵抗がある場合などに使われている。ヘイズコマンド(AT コマンド)が使用できるモデムのことを、ヘイズ互換モデムと呼んでいる。

AT コマンド自体は特許の対象ではないが、特許の対象であるモード切り換え方法と組み合わせて使用しないと使えない。基本的なヘイズコマンドを表 18-1 に示した。

ほとんどの AT コマンドは、アテンションキャラクタに続く1文字でコマンドの種類を表わし、さらにその次の1文字でコマンドの性質を表わしている。たとえば、"H"は"Hook"を表わすことになっており、"H0"と続く場合は、"on the hook"つまり電話を切るという意味になる。"H1"の場合は、モデムが電話を取る、つまり回線を接続させることを意味する。

最初のアテンションコマンドに続けて、いくつかのコマンドやその修飾子を加えて1つの行を作ることができる。たとえば、Hayes社のモデムやヘイズ互換モデムに、トーンダイヤル回線上で情報をダイヤルするように指示する場合は、"ATDT15511212"という文字列がそのコマンドになる。

表 18-1 拡張ヘイズコマンドセット

コマンド	機能						
AT	アテンション(全コマンドの始めに使用)						
ATIn	製品コードと ROM チェックサム要求						
	0=モデムは3桁の製品コードを送る						
	1=ファームウェア ROM のチェック	サム値を要求					
	2=ROM チェックサムの OK または	ERROR の状態を要求					
A/	最後のコマンドを繰り返す(ATもしくは	最後のコマンドを繰り返す (AT もしくは Return はなし)					
A	リングを待たずに応答する						
Bn	Bell モードー1,200 bps プロトコル互換	モードにセットする					
	0=CCITT v.22/v.22bis						
	1=Bell 212A						
Cn	キャリアステート						
	0 = off						
	1=on						
Dn	n番をダイヤルする						
特殊ダイヤル	ルコマンド						
P	ポーズダイヤル						
R	リバースモード(発呼側が応答用のキャリア周波数を使用)						
S	記憶番号のダイヤル						
T	トーンダイヤル						
W	ダイヤルトーンまたはアクセストーンを	持ついるというなどのである。					
@	一定時間の無音状態を検出						
, 4 = = = =	ポーズ (ダイヤル文字列中の待ち指定)						
!	フラッシュ (1/2 秒オンフック)						
;	ダイヤル後コマンドモードに戻る						
En	モデムコマンドのエコー						
	0 = no						
	1=yes						
Fn	全二重通信または半二重通信						
	0=半二重モード						
	1=全二重モード						
Hn	フック						
	0=オンフック(ハングアップ)						
	1=オフフック						
	音量またはスピーカのボリューム						
	0=低い						
	1=低い						
	2=中間						
	3=高い						

コマンド	機能
Mn	スピーカの動作モード
	0 = off
	1=on
	2=常時 on
	3=モデムがダイヤル時にキャリア信号を受信したときにスピーカを off
On	オンライン状態
	0=モデムはオンライン状態に戻る
	1=モデムはオンライン状態に戻り等化器 (イコライザ) を再トレーニングする (24,000bps モードのみ)
Qn	リザルトコードの有無
	0=リザルトコードを返さない
	1=リザルトコードを返す
$S_n = x$	Sレジスタコマンド
	n=Sレジスタ番号
	x=レジスタにセットする値
Sn?	Sレジスタ nの値を表示する
Vn	リザルトコードの形式
	0=数字使用
	1=ワード使用
Xn	拡張リザルトコードとモード設定
	0=基本 (300 bps)
	1=拡張(ダイヤルトーンなしまたはビジー信号検出)
	2=拡張(ダイヤルトーン検出、ビジー信号未検出)
	3=拡張(ダイヤルトーン未検出、ビジー信号検出)
	4=拡張(ダイヤルトーン、ビジー信号ともに検出)
Yn	ロングスペース遮断
	0=禁止
	1=許可; 1.6 秒間のブレーク信号を受信後回線切断
Z	不揮発性メモリから設定値を取り出す
&Cn	データキャリア検出 (DCD) 信号の処理
	0=モデムは DCD (RS-232 の 8 ピン) を常時 on に保持する
	1=データキャリアの有無に応じて DCD の状態を変える
&D n	データ端末レディ (DTR) 信号の処理
	0=モデムは DTR ライン (RS-232 の 20 ピン) を無視する
	1=DTR がなくなったときにモデムは非同期コマンドの状態と推定する
	2=DTR off でモデムを off hook にし、アンサーモードから抜け、コマンドモードに移る
	3=DTR off でモデムを初期化する
&F	ROM から工場設定値を取り出す

コマンド	機能
&Gn	ガードトーン選択
	0=ガードトーンなし
	1=550Hz のガードトーン
	2=1,800Hz のガードトーン
& Jn	テレフォンジャック選択
	0=RJ-11/RJ-41S/RJ-45S
	1 = RJ - 12/RJ - 13
&Ln	リース回線と公衆回線の選択
	0=公衆回線
	1=リース回線
&Mn	非同期/同期モード選択
	0=非同期モード
	1=同期モード1-非同期モードでダイヤル後、同期動作に切り換え
	2=同期モード2-記憶されている番号をダイヤルする
	3=同期モード3ー手動ダイヤル
&Pn	*パルスダイヤルのメイク/ブレークパルス長選択
	0=39%メイク、61%ブレーク (US およびカナダ標準)
&Rn	送信要求 (RTC) /送信可 (CTS) 信号の処理 (同期モードのみ)
	0=CTS (RS-232 の 5 ピン) は RTS (4 ピン) に連動する
	1=同期データ受信の準備ができたら、モデムは RTS を無視して CTS を on にする
&Sn	データセットレディ (DSR) 信号の処理
	0=モデムは電源 on 状態で常に DSR を強制的に on にする
	1=DSR (RS-232 のピン 6) は EIA 仕様に従って動作する
&Tn	テストモード
	0=進行中のすべてのテストを終了する
	1=自局側アナログループバックテストを開始する
	2=自局側デジタルループバックテストを開始する
	4=他局側のモデムからの要求に応じて、リモートデジタルループバックテストを実行する ためにモデムを調整する
	5=リモートデジタルループバックテストを禁止する
	6=他局側のリモートデジタルループバックテストを開始する
	7=自己診断とリモートデジタルループバックテストを開始する
	8=自己診断とリモートデジタルループバックテストを開始する
&W	現在の設定値をメモリに書き込む
&Xn	同期伝送のクロックソースを選択する(同期モードのみ)
CIII	0=モデムがタイミングを生成し、15 ピンを通してそれを送る
	1=モデムのホストコンピュータがタイミングを生成して、それをモデムの 24 ピンに送る。 モデムはそれを 15 ピンにルートする。
	2=モデムは入力信号からタイミングを生成して、それを 15 ピンに供給する

コマンド	機能
&Zn	電話番号を記憶する
	n=ダイヤルコマンドと互換の文字列

^{*}訳注:日本国内のモデムでは、パルスダイヤルのスピード (pps) 設定に使われていることが多い。

"AT"はアテンション信号、"D"はダイヤルを 指示するコマンド、"T"はダイヤルにトーンを使 用することをモデムに教えるもので、"15511212" が電話会社の情報サービスの電話番号を表わして いる。

AT コマンドを送る場合は、最後に必ずリターンキーを押す必要がある。モデム側では、このリターンキーが押されることにより、その前に入力されたコマンド列がこれで終了したと判断し、コマンドの処理を始めるのである。

拡張ヘイズコマンド

ヘイズコマンドが開発された頃、モデム側の機能は比較的少なかった。その後、モデムの性能が高くなるにつれ、より多くの機能が搭載されるようになり、最初のヘイズコマンドも、拡張してあらゆる機能を扱うことができるようにする必要が生じた。ここで注意しなければならないのは、ヘ

イズ互換モデムの多くは、オリジナルのヘイズコマンドしか認識できないということである。へイズ互換モデムに様々な機能が搭載されていても、拡張ヘイズコマンドを要求するソフトウェアでは、すべての機能は使えない可能性があるのだ。

Sレジスタ

ヘイズコマンドを拡張するとき、新しい機能があまりにも多いため、コマンド言語が扱いにくく混乱を招きやすいものになりかねなかった。1文字で表わすコマンドとして使用できるアルファベットは26文字しかないのである。これに対して、Hayse社は特別なレジスタ機能である、Sレジスタと呼ばれるメモリ領域をモデムの中に組み込むことで、モデムの操作パラメータを設定しやすくした。Sレジスタに数値を設定することによって、様々なモデムの機能が制御できる。Sレジスタによる設定方法を表18-2に示す。

表 18-2 ヘイズモデムの S レジスタ

レジスタ	範囲	単位	説明	デフォルト
S0	0-255	リング	指定回数のリング後に応答	0
S1	0-255	リング	リング数をカウントする	0
S2	0-127	ASCII	エスケープコード	43
S3	0-127	ASCII	リターンとして使用するキャラクタ	13
S4	0-127	ASCII	改行として使用するキャラクタ	
S5	0-32、127	ASCII	バックスペースとして使用するキャラクタ	8
S6	2-255	秒	ダイヤルトーンの待ち時間	2
S7	1-255	秒	キャリアの待ち時間	30
S8	0-255	秒	カンマポーズの長さ	2
S9	1-255	0.1 秒	応答時間、キャリア検出	6
S10	1-255	0.1 秒	ハングアップまでの遅延	7
S11			予約	
S12	20-255	0.02 秒	エスケープコードの不動作時間	50
S13			子約	

レジスタ	範囲	単位	説明		デフォル
S14	ビットマップ		モデム	の動作	AAh
			bit 0	予約	
			bit 1	コマンドエコー	
				0=エコーなし	
				1=エコー	
			bit 2	リザルトコード	
				0=enabled	
				1=disabled	
			bit 3	冗長モード	
				0=短形式リザルトコード	
				1=冗長リザルトコード	
			bit 4	ダムモード	
				0=スマート動作	
				1=ダム動作	
			bit 5	ダイヤル方式	
				0=トーン	
				1=パルス	
			bit 6	予約	
			bit 7	発信/応答モード	
				0=応答	
				1=発信	
S15			予約		
S16	ビットマップ		モデム	、テスト動作	
			bit 0	自局側アナログループバック	
				0=disabled	
				1=enabled	
			bit 1	予約	
			bit 2	自局側デジタルループバック	
				0=disabled	
				1=enabled	
			bit 3	ステータスビット	
				0=disabled	
				1=enabled	
			bit 4	リモードデジタルループバック	
				0=disable	
				1=enable	
			bit 5	テストメッセージとともにリモートデシ ループバックとエラーのカウントを始め	
				0=disabled	
				1 = enabled	

レジスタ	範囲	単位	説明		デフォルト
			bit 6	セルフテストとともに自局側アナログループ バック	
			bit 7	予約	
S17			予約		
S18	0-255	秒	テスト	・タイマ	0
S19			子約		
S20			予約		
S21	ビットマップ		モデム	動作	
			bit 0	使用ジャック	
				0=RJ-11/RJ-41S/RJ-45S	
				1 = RJ - 12 / RJ - 13	
			bit 1	予約	
			bit 2	RTS/CTSの処理	
				0=RTS は CTS に従う	
				1=CTS は常時 on	
			bit 3,	4 DTR の処理	
				0、0=モデムは DTR を無視	
				0、1=DTR が off になったときモデムをコ マンドモードにする	
				1、0=DTR が off になったとき回線を切断 する	
				1、1=DTR が off になったときモデムを初 期化する	
			bit 5	DCDの処理	
				0=DCD は常時 on	
				1=DCD はキャリアが存在することを表わ す	
			bit 6	DSR の処理	
				0=DSR は常時 on	
				1=DSR は、モデムが回線が接続されてお り、データモードにあることを表わす	
			bit 7	ロングスペース切断	
				0=disable	
				1=enable	
S22	ビットマップ		モデム	動作レジスタ	76h
			bit 0,	1 スピーカのボリューム	
				0、0=低	
				0、1=低	
				1、0=中	
				1、1=高	

レジスタ	範囲	単位	説明	49	200. 314	デフォルト
		11年至10日本日	bit 2,	3 スピーカの制御		
				0、0=スピーカは	disable	
				0、1=キャリアが は on	食出されるまでスピーカ	
				1、0=スピーカは等	the on	
				-,	チャリア検出の間だけス	
			hit 1~	-6 リザルトコードオ		
			DIL 4		モデムのリザルトコード	
				のみ	C) AUI I IV	
					ダイヤルトーンまたはビ を検出しない	
				1、0、1=モデムは	ダイヤルトーンのみ検出	
				1、1、0=モデムは	ビジー信号のみ検出	
				1、1、1=モデムは 信号を検	ダイヤルトーンとビジー 出	
				(ほかの設定は定義	きれていない)	
			bit 7	メイク/ブレークパ	ルスダイヤルの比率	
				0=メイク39%、フ	ブレーク 61%	
				1=メイク33%、7	ブレーク 67%	
S23	ビットマッ	プ	モデム	動作レジスタ		7
			bit 0	他局側からのリモー の要求に従う	トデジタルループバック	
				$0 = \overline{\mathfrak{p}}$		
				1=不可		
			bit 1,	2 通信速度		
				0, 0=0~300 bps		
				0、1=予約		
				1, 0=1,200 bps		
				1, 1=2,400 bps		
			bit 3	予約		
			bit 4,	5 パリティオプショ	ン	
				0、0=偶数		
				0、1=スペース		
				1、0=奇数		
				1、1=マーク/な	L	
			bit 6,	7 ガードトーン		
				0, 0=disabled		
				0、1=550 Hz ガー	- ドトーン	
				1、0=1,800 Hz カ	ードトーン	
				1、1=予約		

レジスタ	範囲	単位	説明	デフォルト
S24			予約	
S25	0-255	0.01 秒	DTR に対する遅延	5
S26	0-255	0.01 秒	RTS から CTS の遅延	1
S27	ビットマップ		モデムオプションレジスタ	40h
			bit 0、1 送信モード	
			0、0=非同期	
			0、1=コール時非同期、接続後同期モード	
			1、0=記憶された番号のダイヤル後、同期モードで接続	
			1、1=手動ダイヤル後、同期モードで接続	
			bit 2 公衆回線またはリース回線操作	
			0=公衆回線	
			1=リース回線	
			bit 3 予約	
			bit 4、5 同期クロックのソース	
			0、0=自局側モデム	
			0、1=ホストコンピュータまたはデータ端 末	
			1、0=受信キャリアから生成	
			1、1=予約	
			bit 6 Bell/CCITT	
			0=CCITT v.22 bis/v.22	
			1=Bell 212A	
			bit 7 予約	

応答コード

へイズ互換モデムに送られたコマンドは、その性質上一方通行である。確認の方法がないため、送ったコマンドをモデムが本当に認識したか知ることはできない。さらに、使用している電話回線についてモデムが見つけたこと、たとえば、いつ相手側のモデムと接続し、いつ接続が切れたかといったことなどを、モデムが使用者に知らせる方法も必要である。

ヘイズコマンドセットの中には、一連の応答コードがあり、モデムからのフィードバックに使われる。モデムが何かをユーザーに知らせたい場合、データの送信に使用しているのと同じ接続を経由して、その状況をコード番号や英単語で送り返してくる。ヘイズ方式では、モデムを設定して、単

なる数字のコードか、日常英語に近い数個の単語 で作られた冗長な応答を、モデムに送信させるこ とができる(モデムのマニュアルがあれば参照す るとよいだろう)。

よく見られる応答としては "OK"があるが、これは、送ったコマンドをモデムが受け取って処理したことを意味している。 "CONNECT 1200"は 1,200bps のモデムで接続したことを示し、"RINGING" はモデムとつながっている電話に呼び出しがあったことを示している。ヘイズ応答コードについては、表 18-3 に示した。

モデムからコンピュータに送られてくる応答コードは、受信しているデータに混ざってくるため、データの文章と応答コードを見誤ってしまうという可能性もあるので注意が必要である。

表 18-3 ヘイズ応答コード

	Washington Co.	
数字コード	冗長コード	説明
0	OK	エラーなしてコマンドが実行された
1	CONNECT	接続完了 (300 bps)
2	RING	電話が呼び出し中
3	NO CARRIER	キャリア消失もしくは検出できない
4	ERROR	コマンドラインにエラーがある、もしくはコマンドラインが長すぎる
5	CONNECT 1200	1,200 bps で接続完了
6	NO DIALTONE	待機中にダイヤルトーンが検出されない
7	BUSY	モデムがビジー信号を検出した
8	NO ANSWER	無音期間が検出できない
10	CONNECT 2400	2,400 bps で接続完了

18.8 モデムの特徴

"特徴"という言葉は意味が広く、種類の異なる モデム間に存在する様々な微妙な差異、あるいは 明確な差異もすべて含まれる。一般的に、モデム を使用する上での使いやすさや便利さは、このモ デムの様々な特徴全体によって総合的に決まる。 たとえば、基本機能しかないモデムでは、電話機 のダイヤルを回したり、着信コールに応答し、相 手側のモデムが発するキャリアトーンを聞いてか らコンピュータに切り換えたりといった作業を、 ユーザー自らが行う必要があるが、価格が安けれ ばその程度の不便は我慢しようというユーザーも 多いだろう。

モデムの機能不足による作業の増加が苦痛でない場合でも、基本機能しかないモデムでは、コンピュータの機能を生かすことができない。多機能なモデムを使用すれば、コンピュータによって素早くダイヤルすることができる上、エラーも少ない。また、ユーザーに代わって、通信に伴う雑用を自動的に処理することができる。最新のメモリ常駐型の通信ソフトがあれば、ほかのプログラムを使用してデータ処理を行っている間に、コンピュータで多機能モデムを制御して、メッセージを集めることができるのである。

実際、現在製造されているほとんどのモデムは、

外国製の低価格モデムも含めて、通常の通信で必要になる標準的な機能をすべて備えている。機能が回路チップに組み込まれるようになってから、機能の追加が容易に行えるようになった。最近では、古い標準規格に従って製造されたもの、会社の上司から譲り受けたもの、倉庫の隅でほこりをかぶっていたもの、たまたま手に入れた中古品などを使用する場合でもなければ、基本機能だけのモデムを使用する機会はなくなってきている。

以下の項では、最近のモデムが備えている各種の優れた機能の中から、どの製品にも共通する一般的な機能を紹介する。

自動応答

自動応答とは、着信リング電圧(電話機のベルを鳴らす低周波数の高電圧信号)を検出し、人間が応答したかのように電話回線を接続する機能をいう。回線を接続した自動応答モデムは、電話に対する応答が終了したことを通知する信号をホストコンピュータに送信するので、その信号が届いたら、コンピュータは呼び出し側と通話を行う。

自動応答モデムを使用すると、電話に応答する 人間がいない場合でも、ユーザーがコンピュータ システムに電話をかけて、そのコンピュータと接 続することができる。

自動ダイヤル

自動ダイヤルモデムは、電話機の種類にかかわらず、パルスダイヤル信号、または DTMF (デュアルトーン変調周波数、つまりプッシュホン式) ダイヤル信号を生成できる。

自動ダイヤル機能を使えば、たとえば電話料金が安い夜間に、コンピュータのコマンドによって 自動的に電話をダイヤルすることなども可能だ。 自動ダイヤル機能がないと、ダイヤルを回し、相 手側モデムの応答を聞き、自分のモデムを接続し てから受話器を置くという作業をユーザー自らが 行わなければならない。

自動速度感知

相手側のモデムの動作速度は、接続してみるまでは分からない。そのため、最近のモデムの大部分は、相手側のモデムの速度に合わせて、可能な範囲内で速度を自動調整することができるようになっている。高速モデムでは、通常、専用のプロトコルによる動作が可能な範囲で、最適な共有速度を選択するようになっている。

また、コンピュータから受信したデータの速度に合わせて、可能な範囲内で自らの速度を調整するようになっているモデムも多い。ヘイズコマンドセットのアテンションコード("AT")だけで、モデムはデータを読み取り、動作速度を情報フローの速度に合わせることができる。

音響カプラー

旧式のモデムは、電話回線と電気的には接続されていなかった。当時は、モデムと電話機を直結することは実際には無理だったし、法律上も不可能だったからである。電気的な接続が実現したのは、現在では一般的なモジュラープラグとジャックが使用されるようになって、難しい作業や感電する恐れもなく、誰でもモデムを電話機に接続できるようになってからである。また、法律的に可能になったのは、独占企業であった AT&T が分割されるまでの長きにわたって使用されていた電話会社規定が変更されて、モデムと電話機の直結

を個人が自由に行えるようになってからのことで ある。

旧式のモデムでは、電気的に接続する代わりに、信号を音波として電話機に送り込んでいた。モデムが発生する疑似音声アナログ信号は、音響カプラーと呼ばれる装置を使用して受話器のマイクが取り込める音に変換し、再び電気信号に戻してから電話線を通じて送信していた。また、音によって双方向の交信を行うために、音響カプラーにもマイクが組み込まれており、これによって受話器のスピーカから出てくる着信音を取り込み、電気信号に変換した後でモデムに送り、復調を行っていた。

音響カプラーには様々な形のものがある。初期の装置は、上に受話器を置けるように、特殊な受け台の形をしたものがモデムに搭載されていた。最近では、受話器の送話口と受話口をはめ込むゴム製のカップを2つ備えたものが多くなっている。後者のタイプのカプラーは、モジュラージャックを備えていないために、モデムとの直接接続することができない電話機でも、モデムと接続したり切り離したりが容易に行えるため、今後もしばらく使用されるだろう。この使用上の柔軟性が特に効果を発揮するのは、携帯型コンピュータに内蔵したモデムを、モジュラージャックのない公衆電話機やホテルの客室内の電話機と接続する場合などだ。

なお、音響カプラーは一般的に遅い通信速度でしか使用できなかったが(たとえば、300 ボーでBell 103 規格の通信を行う場合など)、現在では最高9,600bpsという高速通信が可能な音響カプラーもある。

直結型モデム

電話システムの電気回線に直結するモデムは、 文字通り直結型モデムと呼ばれている。モジュラー ジャック方式の電話回線システムが普及したおか げで、現在では市販のモデムはほぼ全機種が直結 型になっている。

非同期式モデム

コンピュータでの通常の通信用途向けに販売さ

れているモデムは、ほぼすべての機種が非同期伝送機能を備えている。このちょっと変った用語は、 互いにまったく独立して動作し、タイミング情報 を共有しない2つのコンピュータシステム間にお ける情報の交換方法のことを表わしている。

通常、デジタル信号におけるビットの意味は、コンピュータのシステムクロックからのクロック信号に応じてパルスが発生するタイミングによって決まる。したがって、正しい動作を行うためには、パルスとクロックの同期が取れていなければならない。しかし、非同期伝送では、このデジタルパルスは、どちらのコンピュータのシステムクロックにも同期しない。その代わりに、デジタルワードの各ビットの意味は、明確に定義されたスタートビットを基準とした位置によって決まるようになっている。タイミングは個々のワード内で設定されるため、非同期信号の各ワードはタイミングに関して自己完結しており、自分で定義する境界外との時間関係からは基本的に独立している。

電話システムを使用するモデムの信号は、一般 的に非同期である。信号経路が突然変更される可 能性があるため、電話システムを通じて信号の同 期を取るのは困難である上、コストが高くなるか らである。

同期式モデム

専用回線用のモデムでは、通常、メインフレーム間で多用されている特殊な通信技術が使用される。この技術を同期伝送という。電話線を通じてこの方式でデータを送信する場合は、チャンネルの両端で同一のタイミング基準を使用する。また、接続状態の恒常的な監視と回線状態に応じた調整を行う回路によって、双方のモデムはほぼ同一の周波数を維持して継続的に通信を行うと同時に、モデム間の適切な位相関係が維持される。2,400bps以上の高速モデムでは同期伝送を使用する場合が多い。

同期伝送では、個々のビットのタイミングがき わめて重要になる。しかし、フレームを指示する ビット(スタートビットとストップビット)は必要 ないため、高速な通信が可能である。タイミング が重要な通信の問題点は、接続の両端だけでなく、 モデムとコンピュータ間の接続においても同期が 取れていなければ、情報の交換が不可能な点にあ る。接続されてしまえば同期を取る手段があるが、 接続するにはダイヤルする必要があるため、通常、 自動ダイヤル機能は同期モードでは動作できない。

自動同期モデム

Hayse 社は、同期通信とダイヤルに関するこの問題点を解決するために、自社の最新高速モデムに自動同期機能を搭載した。この特殊なモードでは、コンピュータとモデムとの接続を非同期で動作させることができる。モデムは、コンピュータからの非同期信号を同期モードに変換してから電話線に送出する。受信時ではこれと逆で、着信した同期信号を非同期信号に変換してからホストコンピュータに送信する。この自動同期機能を使用すると、メインフレームと同期方式を使用するコンピュータとの通信が、パーソナルコンピュータ間の通信並みに容易になる。

モデムのパッケージ

モデムを購入する際の最大のポイントは、コンピュータ内部に装着する内蔵モデムと、ケーブルで接続する外付けモデムのいずれを選択するかという点である。内蔵モデムは、コンピュータのスロットに装着するほかの拡張カードと同じ形をしている。外付けモデムは独立した筐体に入っているため、机の上に置く場所が必要になる。

製品の選択に迷った場合は、外観だけで決めて も差し支えない。パッケージは異なっていても、 回路は実質的にまったく同一という場合が多いか らである

内蔵か外付けかの選択に関しては、実用上の判断基準がいくつか考えられる。外付けモデムは携帯性に優れているため、別のコンピュータへの接続が容易であり、IBMとは互換性のないコンピュータにもプラグで簡単に接続できる。内蔵モデムの場合、これを移動しようと思うと、移動元と移動先のコンピュータのカバーを始めとして、内部の様々な部品を取り外す必要がある。

また、内蔵モデムは装着可能なコンピュータが 限られる。フルレングスの拡張カードになってい る一部の内蔵モデムは、フルサイズの PC、XT、AT (または同等の互換機)にしか装着できない。 Tandy 1000 などの縮小サイズのコンピュータには、別のタイプのモデムが必要になる。また、DOSコンピュータから PS/2 アーキテクチャのマシンに移行する場合には、内蔵モデムも買い直さなければならない。ほとんどのラップトップマシンやPCjr といった専用の拡張バスを持つコンピュータでは、その専用バスに合わせて設計された内蔵モデムしか使用できない。

また、63.5 Wという小さな電源しか持たないコンピュータを購入時のままで使用している場合は、内蔵モデムを装着すると(特に、フルレングスの旧型モデムカードでは)、モデムカード以外に同時に使用できるカードの数が制限されることがある。フルレングスの旧型モデムカードは消費電力量が多いため、ほかのカード(ハードディスクやEMSボードなど)が使用できるほどの電力が残らないためである。

反面、内蔵モデムは筐体や電源が不要なため(ただし、信号回路は少し多いが)、一般的に外付けモデムよりも価格が安い。また、30ドル以上はするシリアルケーブルの費用も節約できる。さらに、邪魔なケーブルやプラグも、貴重な空きコンセントを減らす電源アダプタも、机上の設置スペースも、システムの電源を一度に落とすための主電源

スイッチボックスなども必要ない。

ポートの割り当て

電源の問題以外にも、内蔵モデムか外付けモデ ムかを問わず、システムのリソースに影響を及ぼ す問題がある。外付けモデムにはシリアルポートと シリアルケーブルが必要であるが、内蔵モデムにも シリアルポートのアドレスが必要である。したがっ て、内蔵モデムの場合、シリアルポートの COM1 と COM2 のいずれかが (PS/2 や最近のバージョ ンの DOS では、COM3 と COM4 も含めたいずれ かが) アドレスを使用できなくなる。 バージョン 3.3 より前の DOS を使用している場合は、外付け モデムが使用するシリアルポートまたは内蔵モデ ムが使用するシリアルアドレス以外に、シリアル ポートを1つしか使用できなくなる。内蔵モデム の中にはアドレスを COM3 や COM4 に設定でき るものもあるが、その場合は、使用するソフトウェ アに COM2 より上の番号のポートを制御する機 能がなければならない。

一般原則としては、コンピュータシステム間で 1台のモデムを共有する場合は、柔軟性や機能性 を考えると、外付けモデムを選択する方がよい。 一方、設置面積やケーブル接続が不要な点、およ び低価格である点を重視する場合は、内蔵モデム ということになる。

18.9 モデムの接続と使用

ほかの一般的な周辺機器とは異なり、モデムは プラグを接続してもすぐに使用できるとは限らな い。シリアルポートに接続することから、外付け モデムは特にその傾向が強い。

モデムの配線

モデムのインストール作業の中で最も簡単なのはケーブルの接続である。DOS マシンや PS/2 マシンのシリアルポートに接続する場合は、"ストレートスルー"ケーブルを使用する。AT タイプ

の9ピンコネクタのシリアルポートに接続する場合のみ、モデムへの接続アダプタが必要になる。

面倒なのは、ソフトウェアの導入以降の作業である。各種の通信ソフトは、モデムと対話しながら、シリアルポートの多数の制御回線を運用する。通常の通信ソフトはすべての接続を監視するが、「PCーTalk III」のように、モデムが備えている制御信号をほとんど使用しない通信ソフトもある。したがって、接続されるべき制御信号の数、およびモデムとコンピュータ間の接続ケーブル内で利

用可能なワイヤ数は、使用する予定の通信ソフトによって異なってくる。2番、3番、7番という必要最小限の3本のピンで通信処理のすべてを行う場合もあると思われるが、通常の通信ソフトでは10本の完全な接続が必要である。したがって、購入したモデムに必要なケーブルの種類が不明な場合は、ワイヤが10本以上でストレートスルータイプのシリアルケーブルを使用すれば間違いがない。

モデムのスイッチ設定

モデム自体は、ソフトウェアの条件に合わせて、様々な接続状態をどう扱ったらよいか設定することができる。たとえば、通信ソフトによっては、キャリア検出 (CD) 信号によって接続を管理しなければならないものがある。また、キャリア検出信号ではなく、データセットレディ (DSR) 信号で管理する通信ソフトもある。

表 18-4 Hayes 社 Smartmodem の DIP スイッチの設定

スイッチ	名前	機能	相当コマンド
1	DTR 認識の有無	上ーモデムは DTR 信号を認識する。コンピュータ はモデムに回線を切らせたり、DTR (RS-232 の 20 ピン) に応答しないようにできる	
		下-モデムは DTR を無視する	
2	リザルトコード選択	上-冗長リザルトコード(英語の形で送信される コード)	ATV1
		下-数字のリザルトコード	ATV0
3	リザルトコードの有無	上-リザルトコードはコンピュータへ送られる	ATQ1
		下ーリザルトコードは送信されない	ATQ0
4	キャラクタエコーの有無	上ーモデムはコマンドモードで受け取ったコマンド をエコーする	ATE1
		下ーモデムは半二重かつオンラインモードにいなけ ればキャラクタをエコーしない	ATE0
5	自動応答の有無	上ーモデムは自動的に応答する	ASTO=1
		下ーモデムは着信呼び出しに応答しない	ASTO=0
6	キャリア検出の有無	上ーモデムはキャリアが検出されたことを示すため にコンピュータに信号を送る (RS-232 の 8 ピン)	
		下ーキャリアが検出されても、モデムは8ピンのステータスを変えない。キャリアが常に存在するように見せるために常にCDをOnにする	
7	RJ11/RJ12 選択	上-モデムは 2 線式の RJ11 テレフォンジャックに 接続されている	
		下ーモデムは RJ12 または RJ13 ジャックを使って 4 線式回線に接続されている。この設定にすると、モデムが回線を使用しているとき (オフフック時) に多機能電話の通話中を示すインジケータが点灯する	
8	コマンド認識	上-Smartmodem 1200 のコマンド認識をディス エーブルにする	
		下-Smartmodem 1200 のコマンド認識をイネー ブルにする	

幅広い通信ソフトに対応できるように、通常、 モデムには、制御回線の取り扱い方法を決定する ための設定スイッチがある。たとえば、特定のス イッチをオンにすると、キャリア検出信号がオン 状態に固定され、オフにすると、通信状態に応じ てキャリア検出信号の状態も変化するようになる。

スイッチには機械的なものと電気的なものの2種類がある。機械的なスイッチとしては、DIPスイッチが一般的である。モデムの原型的な存在である Hayes 社の「Smartmodem 1200」では、スイッチは前面パネルの裏側に隠されていた(スイッチの操作をするときには、黒い前面パネルの両側にあるパネル固定ノブを片方ずつ注意深く引き上げ、パネルを手前に引いて外すという作業が必要だった)。

DIP スイッチを備えた市販モデムは、大部分が Smartmodem 1200 の DIP スイッチ配列を踏襲 している。そこで、Smartmodem 1200 の DIP ス イッチの配列を表 18-4 に示す。

もう1種類のスイッチである電気式スイッチに

関しては、「Smartmodem 2400」を例に取って説明する。このモデムでは、電気式スイッチは EEP ROM メモリから成り、コンピュータからモデムにコマンドを送信することでスイッチの設定を行う。 EEPROM を利用したスイッチであるため、モデムの電源をオフにしたり、電源ケーブルを外したときでも、スイッチの設定内容は保持される。

ほかのモデムのうち、Smartmodem 2400 と同様の EEPROM スイッチを備えたもの以外は、バッテリバックアップ方式のダイナミック RAM など、別のメモリ技術を利用している。設定内容を保存できない一部のモデムでは、電源を投入するたびに再設定を行う必要がある。不揮発性メモリを搭載していないモデムの場合は設定内容を保存することはできないが、ディスクをメモリとして使用することで、この欠点を補うことは可能である。通信ソフトの多くは、接続する前にセットアップ用の文字列をモデムに送信するようになっているため、この文字列にスイッチの設定内容を加えておくとよい。

表 18-5 Hayes 社 Smartmodem 2400 セットアップコマンド

スイッチ	名前	代用コマンド
1	DTR 認識の有無	有-Sレジスタ21番のビット3を1、ビット4を0にする
		無一Sレジスタ21のビット3と4をともに0にする
2	リザルトコード選択	冗長コードーコマンド ATV1 をモデムに送る
		数字コードーコマンド ATV0 をモデムに送る
3	リザルトコードの有無	有-コマンド ATQ1 をモデムに送る
		無-コマンド ATQ0 をモデムに送る
4	キャラクタエコーの有無	有-コマンド ATE1 をモデムに送る
		無ーコマンド ATEO をモデムに送る
5	自動応答の有無	有-コマンド ATSO=1 をモデムに送る
		無ーコマンド ATSO=0 をモデムに送る
6	キャリア検出の有無	有-Sレジスタ21のビット5を1に設定する
		無一Sレジスタ21のビット5を0に設定する
7	RJ11/RJ12 選択	RJ11-Sレジスタ21のビット0を0に設定する
		RJ12-Sレジスタ21のビット0に1を設定する
8	コマンド認識	ダムモード-Sレジスタ14のビット4を1に設定する
		スマートモードーSレジスタ14のビット4を0に設定する

業界標準である Smartmodem 2400 のセット アップコマンドを表 18-5 に示す。 Smartmodem 2400 には DIP スイッチがないため、表に示した コマンドは Smartmodem 1200 の DIP スイッチ の機能を代行している。

18.10 モデムの購入

モデムの購入は宝探しに似ている。最高の価値があるものは隠されており、ユーザーが自らがそれを掘り出さなければならない。しかし、探し出すべき対象をきちんと把握していれば、探し当てるのは難しいことではない。

まず、通信上の必要条件を判断する。宝を知らなければ宝探しを始められないのと同様に、行う通信の種類と通信速度を最初に決めておく必要がある。次に、メーカーがモデムに持たせた機能や付加価値(付属のソフトウェアなど)を検討する。価値観や関心の対象は人様々ではあるが、以下に述べる判断基準を利用すれば、適切な装置を適切な販売店から購入できるはずである。

実行したい通信の種類が決まれば、必要なモデムのタイプも絞られてくる。オフィス間でファイルの電子的なやり取りを行うだけであれば、規格外のモデムを2台購入することで、投資を上回る速度を得ることも可能である。しかし、全世界的な通信を行うつもりなら、国際的な規格に準拠したモデムを購入する方がよい。

速度

次に、希望する通信速度を判断する。モデムの価格設定において速度は大きな要素である。高速なモデムはそれだけ複雑で精密になり、価格も高くなる。世界最高速のモデムでなくともよい場合は、かなりの費用を節約できる。ファイルの転送をほとんど行わない場合は、それほどの速度は必要ない。一方、数百 K バイトにのぼる大量のデータの送受信を毎日行う場合は、9,600bps 以上の高速モデムを購入したとしても、電話代が相対的に安くてすむため、数か月もあればもとが取れる。

規格

通常は、希望する通信速度が決まれば、モデムが従うべき規格も決まる。ただし、エラー訂正とデータ圧縮に関する考慮も必要である。これらの機能をソフトウェアで実現した場合、低い速度では正常に動作するが、9,600bps 以上の速度になると、ハードウェアでの実現が必要になってくる。

すべてのモデムが、設計上の基本速度より低い 速度をサポートしているとは限らない。たとえば、 9,600bps のモデムでいえば、2,400、1,200、300bps での通信をサポートしていない場合も考えられる のである。こういった速度が必要な場合は、購入 候補のモデムがそのような速度をサポートしてい るかどうかを確認すべきである。

なお、モデムが低速度をサポートしている場合でも、電話の回線状態が悪いときに自動的に低速動作に切り替わる機能があるとは限らない。これを実現するには、接続を維持できる最大速度をネゴシエートする自動フォールバック機能を持ったモデムが必要である。

Hayes 社の AT コマンドセットは、業界内におけるモデム制御に関する事実上の標準規格である。 ヘイズ互換モデムには、ほぼすべての通信プログラムを含めて、幅広いソフトウェアが使用できる。また、フォンダイヤラーや同様の機能を持つユーティリティには、ヘイズ互換のモデムが必要である。

パッケージ

内蔵モデムは、(ラップトップタイプやノート ブックタイプの特定のコンピュータ用に製造され た専用モデムを除けば)外付けモデムよりも一般的 に低価格であるが、システム間での移動が難しい。 外付けモデムは、コンピュータのシリアルポー トに、直接または間接的に接続する必要がある。ポケットモデムの中にはポートのコネクタにそのまま接続できるものもあるが、大部分のモデムではケーブルが必要である。ケーブルが付属している場合はほとんどないため、モデムを購入する際にはシリアルケーブルも忘れずに購入する必要がある。一般的には、ストレートスルータイプのシリアルケーブルを使用するが、(シリアルコネクタの25本のピンすべてを結線したものではなく)標準的な7ピン結線のもので十分である。

ほかの拡張ボードと同様に、内蔵モデムの場合も拡張スロットの空きが1つ必要なため、空きを確認する必要がある。また、未使用の COM ポートアドレスも必要になる。システムがシリアルポートをすでに4つ使用している場合は、通常、内蔵モデムを搭載することはできない。

ラップトップコンピュータを使っている人は、 高価な専用内蔵モデムの代わりに、ポケットモデムを使用するとよい。ポケットモデムは小型の外付けモデムで、ラップトップやノートパソコンのケースの隅に入る程度の大きさである。小型でも、フルサイズのモデムが実行できる機能はすべて搭載されている。その上、ポケットモデムを使えば、ラップトップパソコンのバッテリ寿命も伸ばすことができる。

ポケットモデムは、モデムに内蔵されたバッテリを使用するか、または電話線自体から給電される設計になっている。バッテリの電力を使い果たして困った経験を持っているユーザーであれば、回線からの給電の利点は明白であると思われる。

ポートの使用

いろいろと設定の変えられる内蔵モデムであれば、(スキャナ、マウスなどの)ほかの装置のために2個から3個のシリアルポートを残しておくこともできる。使用する内蔵モデムがCOM3とCOM4をサポートしていない場合は、モデムを装着すると、シリアルポートの1つをアドレス指定することができなくなる可能性がある。

ソフトウェア

モデムにソフトウェアが付属しているかどうか

を確認することも大切である。コンピュータ用の 周辺機器の中でも、モデムにはソフトウェア (通 常は、基本機能を完備した通信プログラム) が付 属している場合が非常に多い。こうした付属のソ フトウェアには、単なる無料ソフト以上の意味が ある。モデムの特定機能 (COM3 以上のシリアル ポートを使用する機能など) を利用するために必 須である場合があるからだ。したがって、モデム を注文する際には、付属のソフトウェアの機能や、 そのソフトウェアが標準装備かどうかを確認する とよい。

品質の問題

モデムの標準規格では、理想的な条件下でモデムでの処理が可能な信号だけが規定されている。ところが、すべてが理想的に接続できているとは限らない。電話回線のノイズや信号レベルの変化など、信号に関する障害への対応能力は、モデムによって様々である。モデムの仕様を確認して、ノイズの処理能力や検出可能な最小信号レベルのほか、エコーキャンセルなどのそのほかの信号回復機能の優劣を判断する必要がある。

ハードウェアの信頼性も忘れてはならない。コンピュータ用のほかの周辺機器と同様、モデムの場合も、構成部品が少ないほど信頼性は向上する(簡単なものほど壊れにくいということだ)。したがって、最新のエレクトロニクス(VLSIおよび表面実装部品)を駆使したモデムを選択するとよい。小型のモデムほど、必要上、こういった小型化技術(および信頼性向上技術)を採用する傾向がある。

サポート

購入したモデムを誰がサポートしてくれるのかということ、および受けられるサポートの種類を確認する。モデムに障害が発生した場合にサポートを受ける方法は2通りある。通常は、モデムの購入先の販売店にまず連絡することになる。したがって、購入前に、その販売店のサポート体制やサポート内容を確認しておく必要がある。フリーダイヤルによる24時間サポートが理想的である。

購入前に、販売員にサポート方針についての質 間をしてみるべきである。サポート用の電話番号 があるかどうか。受け付け時間はどうか。モデムをテストするのは、夕方から夜間にかけての電話料金が安い時間帯になりがちであるため、その時間にサポートが必要になった場合にも対応しているかどうか。サポート電話はフリーダイヤルかどうか。問い合わせに迅速に対応できるだけの人員を配置しているかどうか(十分な人員がいない場合は、相手からの返答の電話を恐らく永遠に待つはめになる)。販売を担当した店員だけがサポートを担当するといったケースでは、サポートはないも同然である。

サポート方針はメーカーによっても異なっている。(社内をたらい回しされることはあるにしても)障害の解決に協力してくれるメーカーも多いが、相手にしてくれないメーカーもあるのだ。外国メーカーの場合は、ユーザーの国との間の電話回線が不足していて、20世紀中にはつながらない可能性も考えられる。販売店が問い合わせに耳を貸してくれず、モデムのメーカーに頼らざるを得ない場合、少なくとも連絡を取ることが可能でなければ困る。顧客サポート用の電話を備えた販売店はまれであり、フリーダイヤルに至っては皆無に近い。電子掲示板(BBS)サービスによる技術サポートがあれば便利だが、モデムに障害があってサポートを受ける場合なら、BBSへの接続自体が困難なはずだ。

製品保証は製造メーカーと販売店の両方が提供 しているが、一般的にいって、販売店の保証の方 が重要である。販売店の方が直接的な助言を求め やすいからである。

保証期間の長さは評価が簡単な項目である。モデムの場合は、最初の接続から90日間は保証されるべきである。良心的な販売店や製品であれば、1年保証も期待できる。

保証内容も重要である。最も簡単な保証としては、ユーザーから返品されたモデムと引き替えに代替品を送るという交換規定を設けている販売店の例がある。これに対し、販売店の社内規定で、代替品の送付ではなく返送品の修理を行うことになっている場合は、数週間、通信が行えなくなる。

返品可能という方針は、購入したモデムが特定 の構成のコンピュータで動作しなかった場合にも 便利である。わずかな非互換性のために、使用中 のシステムでモデムが動作しないこともあり得る。 そのような場合には、そのモデムを返品して、わ ざわざもう1つ買わなくても別の機種を試用でき るからである。

製造メーカーの保証は、販売店のものよりも取り扱いに注意が必要である。一般的に、保証期間は、ユーザーではなく販売店に製品が売られた時点で開始される。そのため、予想よりも早く保証期間が失効してしまう。その上、正規の販売代理店以外から購入した場合には、メーカー保証が認められないことがある。そのため、モデムの購入時には、メーカー保証を受けられるかどうかを確認することが重要になる。メーカーが廃業した場合や、太平洋の彼方に消え去って連絡が不可能になった場合には、メーカーの保証は無効になる。

18.11 FAX

FAX はファクシミリ伝送 (facsimile transmis sions) を省略したものであり、これによって、『スタートレック』に登場する転送システムの能力を誰でも手に入れることができる (ただし、宇宙人やフェーザー砲は手に入らない)。世界中の任意の場所に光の速度で文書を送信できるようになるのである。FAX は紙を非物質に変えて送り出すので

はなく、1つの文書を構成するイメージや情報を 大陸を越えて移動させ、ほとんど同時に相手側で 再生させる。したがって、受信側は、オリジナル に酷似した複製を手に入れることができる。これ が、巧妙で合理的なファクシミリの仕組みである。

この点から言えば、FAX は遠隔コピー機、つまり、オリジナルの文書をセットした場所と複製を

排出する場所との間で、数千マイルの距離を隔て て複写を行う機械である。実際、Xerox Corpora tionが開発し、今では消え去ってしまった遠隔コ ピー機は、現在の FAX マシンの原型であった。

一方、機能面に目を移せば、FAX は書類を映すテレビの役割を果たしている。テレビ画像が多数の走査線で構成されているのと同様に、FAX マシンでも、イメージは一連の線として、一度に 1本ずつ走査される。文書から読み取られたすべての線は、情報の連続的な流れに変換される。受信側では、別の FAX マシンがデータストリームを紙の上の白黒ドットに変換し、もとの文書のドットパターンを複製する。

そして、実使用上では、FAX は画像を送るモデムの役割を果たしている。欧米では、データは回線を通じて、アルファベットという数十個の記号を表す2進数のバイトとして送信される。一方、FAXマシンは、表意文字が支配する地域でそれと同じ目的を果たしている。漢字やカタカナを ASCII 方式のモデムで処理するのは、1 匹のヤマアラシを丸ごと飲み込むような困難な作業であるが*1、FAXでは、喉に詰まらせることもなく消化することができる。したがって、当然ではあるが、世界に存在する 200 万台の FAX マシンのうち、約半数は日本で稼働している。

ただし、FAX は欧米のビジネス社会でも重要性を増してきている。紙に描かれたイメージをやり取りする場合、FAX は最も高速で費用効果の高い方法だからである。署名の終わった契約書、図表、グラフ、図面、ページレイアウトなど、すべてFAX を通してやり取りできる。FAX は、ビジネス情報を迅速にやり取りできる。FAX は、ビジネス情報を迅速にやり取りするためのほかの手段と比較してコストが安く、宅配便の数分の1であり、テレックスさえ下回っている。対抗手段になり得るのは、ASCII データを使った高速電子メールしかない。しかし、ボードビルから再上演の打ち合わせの席まで、あらゆる場所で口にされる言葉を借りれば、"The best is yet to come"(ま

だ最上には達していない)である。エンジニアは、FAXマシンとコンピュータを結合して、高速な自動グラフィックス通信システムを完成しようとしている。当初はFAXマシンを取り仕切る現場監督のようなささいな役割しか果たせなかったコンピュータは、FAXイメージの作成、管理、送信、受信、表示を行うFAXステーションになりつつある。FAXとコンピュータが結合すれば、電子出版システムを世界的な規模に広げたり、FAXイメージの世界をコンピュータ画面に持ち込むといったことも可能になる。コンピュータと組み合わせた最新のFAXシステムでは、紙をまったく使用せずに、投資に関するニューズレターを「PageMaker」や「Ventura Publisher」で作成し、夜のうちに世界中に配送することができる。

また、コンピュータは、大規模なコンピュータシステムやネットワーク用のFAXのゲートウェイにもなりつつある。メインフレームコンピュータとFAXとの結合には、高コスト(12,000ドル前後)と非互換性(初期のメインフレームFAX製品は、Group 3 規格の制御下では機能しない)という障壁が立ちはだかるが、コンピュータFAXシステムは低コストであり、互換性も完全である。メインフレーム上のデータベースと世界中に分散されたグラフィックス情報とを、コンピュータが論理的に結び付けるのである。

FAX の起源

ファクシミリ伝送という概念は決して新しいものではない。さかのぼること 1842 年に Aalexan der Bain が、電気信号を解釈して紙の上に印を付ける電気機械装置の特許を取っている。それ以来、これと同じ原理を利用した新聞写真の伝送が長らく使用されてきた。

しかし、FAX がビジネスの中に広まったのはごく最近の現象であり、FAX はコンピュータと歩調を合わせるようにして普及が始まった。これには理由がある。デスクトップコンピュータは、IBM

^{*1} 訳注:原著者は誤解しているようだが、もちろん ASCII 方式のモデムで漢字コードを送ることはたやすい。実際、モデムの通信仕様には、送信する文字コードに依存するような部分はまったく含まれていない(そうでなければ、バイナリデータの送信はかなり難しいことになる)。

PCという業界標準となるマシンが登場するまでは 普及しなかったが、同様に FAX も、その爆発的な 普及は、CCITT (国連の下部組織である Interna tional Telegraph and Telephone Consulative Committee のフランス語表記の省略形) が、ファ クシミリでのデータ送信用の標準規格を制定する まで待たなければならなかったのである。

現在では Group 1 と呼ばれている最初のシステムは、アナログ技術に基づき、周波数偏移変調を使用していた (300 ボーのモデムも同様) ため、1 ページ分の情報を送信するのに 6 分を要していた。 Group 2 ではアナログ技術が進歩し、1 ページが3 分以内と、送信速度が 2 倍になった。

FAX 普及の大きな契機になったのは、全面的にデジタル技術を採用した Group 3 の FAX 規格を、1980 年に CCITT が制定したことである。データ 圧縮技術と、最高 9,600 bps での通信が可能なモデムを使用することによって、Group 3 規格では 1ページ分の文書を 30~60 秒で送信できるようになった。また、データ圧縮技術のおかげで、送信速度がページ内のデータ量に影響されなくなった。データ圧縮アルゴリズムがその効果を発揮すると、送信データ量は 5 分の 1 から 10 分の 1 に激減する。一方、FAX モデムが通信状態の悪い回線に合わせて自動的にフォールバックを行って速度を下げるように、電話回線の状態が悪い場合は FAX 送信の速度を遅くすることができる。

Group 3 規格では、用紙上のデータに関して 2 種類のドット解像度 (イメージの鮮明さ)が規定されている (解像度の差は送信速度に影響する)。 1 つは標準モードで、水平解像度が 1,728 ドット (1 インチあたり約 200 ドット)、垂直解像度が 1 インチあたり 100 ドットである。一方、ファインモードでは、水平解像度はそのままで垂直解像度が 2 倍となって 200×200 dpi になり、送信時間も倍になる。

1984年、CCITT は超高速ファクシミリ規格である Group 4 を認可した。Group 4 規格では、最高 400×400 dpi の解像度が可能で、低解像度での送信速度も向上している。印刷用活字の品質にはとうてい及ばないが(写真植字機の解像度は約1,200dpi である)、Group 4 の機能を最大限に生

かせば、普通に読書をする場合の距離での人間の目の分解能力とほぼ同等の解像度までは実現することができる。ただし、現時点での Group 4 の FAX マシンは、高速な専用回線を必要とし、ダイヤル呼び出しの装置としては動作しない。Federal Express が運営していた Zap Mail サービス(現在は中止されてりいる) では、Group 4 規格の FAX 装置が採用されていた。

コンピュータベースの FAX

実用性という点から見れば、今日、コンピュータベースの FAX の最も重要な用途は、すでに FAX 装置を備えている場所と文書をやり取りすることにある。FAX に関しては、互換性の問題は生じない。Group 3 規格に準拠していれば、グラフィックス情報は、すべての FAX 互換システムに対して互換性が保証されている送信形式に変換されるからである。

FAXマシンへの文書の送信にはいくつかの利点がある。FAXでの受信は基本的に自動で行われる。FAXマシンは回線に応答し、受信作業を開始する。伝送が終了すると回線を切り離し、次の送受信に備えて待機する。FAXマシンにおける無人操作は、単に可能だったからというだけではなく、最初からの設計思想だったのだ。コンピュータにFAXボードを装着すると、世界中のあらゆる場所にあるFAXマシンが、常時使用可能なりモートプリンタに変身するのである。

FAX とコンピュータの最初のドッキングは単なる握手程度のものであったが、現在でははるかに進展している。この2つの技術が初めて連結されたときには、両者とも単独の機器としての独立性を残しており、接点はシリアルポートだけだった。しかし、その後の技術革新のおかげで、今ではコンピュータに FAX ボードを装着するという簡単な作業だけで、FAX マシンとコンピュータを一体化することができる。

コンピュータと FAX を初めて結合したのは Xe rox Corporation である。Xerox は、本来は FAX マシンである自社の「895 モデム」をコンピュータ に接続した。この FAX マシンは、通常の FAX マシンと同様に、文書の走査、送信、出力を行うが、

制御はコンピュータが行っていた。コンピュータが FAX マシンにコマンドを送信して、電話をダイヤルさせ、受信側の装置グループに文書を伝送するのである。また、コンピュータは FAX のデータストリームにアクセスして、FAX での送信前や受信後に、ディスクへの記録、文書保管、イメージのプレビューを行うこともできた。そして、ユーティリティソフトウェアを使用すれば、標準的なASCII ファイルを FAX 互換のデータに変換することができた。

これに対し、新しいアプローチは FAX マシンをまったく取り除いたものである。このアプローチでは、コンピュータに内蔵した FAX 互換の高速モデムを使用する。FAX イメージは、コンピュータ自体で作成するか、コンピュータに接続したイメージスキャナで読み込む。FAX 文書を受信した場合は、モニタ画面に表示するか、標準的なドットマトリックスプリンタやレーザープリンタを使用して印刷する。ASCII ファイルやグラフィックスファイルから FAX フォーマットへの変換は、特殊なソフトウェアで行う。着信コールや発信コールの管理は、先の FAX システムとコンピュータシステムを結合したシステムと同様である。送信の前後には、イメージをグラフィックスとして編集することもできる。

実際には、上記の2つのシステムはFAXとコンピュータの能力を一点に収束したものである。いずれのシステムであれ、コンピュータに取り込んだ後のFAXデータの処理方法は同様なのである。両者の唯一重要な相違点といえば、コンピュータとFAXマシンを接続したシステムは、それぞれが単独の装置としても機能するのに対して、コンピュータ内に組み込んだFAXマシンは単独では機能しないということである。また、FAXモデムをコンピュータに組み込んだ場合に比べて、単独の装置を組み合わせたシステムはコストがかなり高くなる上、オフィスでの設置面積も大きくなる。

いずれにせよ、コンピュータと FAX マシンが接続されていると便利である。両者が接続されていない場合は、まずコンピュータで文書を作成して印刷し、その後に FAX マシンで送信しなければならない。FAX 文書を受信した場合に何らかの

データ操作を加えたければ、出力された用紙に対して行うしかない。スキャナがなければ、はさみと糊で作業することになる。

これに対して、コンピュータと FAX マシンが接続されている場合は、ペイントソフトや電子出版エディタを使用して画面上で編集を行うことができる。 OCR ソフトを使用すれば、FAX 文書から ASCII テキストへの変換も可能である。 さらに、適切な変換ソフトを持っていれば、ワードプロセッサなどのソフトウェアで FAX 文書を作成できるという利点もある。そして、作成した文書は、印刷せずに FAX 送信することができる。

コンピュータ上でのFAX 文書の作成には、解像度が明らかに向上するという利点もある。スキャナでの読み込みには原理的な限界がある。文字や線の端が走査セルの端と完全に一致していない部分では、対応するドットが白と黒のいずれになるかが不定である。そのため、走査後の文字の端にゆがみやギザギザが出やすい。これに対して、コンピュータで作成し、FAX マシンで印刷した文字の場合は、各ドットが最適な位置に打たれているため、明らかに解像度が高くなる。したがって、コンピュータ上で作成した FAX テキストやグラフィックスの方が、スキャナで読み取ったものよりも鮮明である。Windows 用のドライバを使用すれば、通常のプリンタで印刷するのと同様の方法で、FAX への出力を行うことができる。

コンピュータを FAX システムの頭脳として使用することもできる。この方法を用いたシステムでは、同一文書を数百か所に送信する場合に、Group 3 FAX に数百回も文書をセットしなくても、コンピュータのキーボードから一連の指示をしてやればすむ。FAX に接続されたコンピュータのプログラムによって、電子メールの宛先リストに掲載されていればそのすべての相手に、1か所へ送信するのとほとんど変わらない手間でコピーを送り届けることができる。

コンピュータベースの FAX の大きな欠点としては、単独の FAX マシンに比べて、操作がかなり複雑になるという点があげられる。単独の FAX マシンであれば、秘書でも重役でも誰でも操作できる。しかし、コンピュータベースの FAX シス

テムの場合は、コンピュータの操作に関する基礎知識(および自信)が必要なほか、マシンの起動、ソフトウェアの実行、メニュー操作、周辺機器の電源投入や使用準備の確認などの作業が必要になる。単に文書を送信するだけであれば、FAX 専用マシンを使用した方が、簡単かつ低コストで、面倒も少ない。

コンピュータベースの FAX システムは、FAX マシンを補完する技術である。ワープロで作成した文書をアンカレッジや台北に送信したい場合、コンピュータベースの FAX システムの方が迅速に送ることができ、ドットマトリックスプリンタで印刷してから FAX マシンにセットするという手間をかけずにすむ。PC Paint で描いた絵や、PageMaker で作成した図形入り文書にも同様のことがいえる。コンピュータベースの FAX システムは、電子的なイメージを操作して優れた品質の出力を引き出すためのプログラムを持っており、送信先に届けられる文書は単なる FAX マシンよりも高品質である。

市販の FAX 製品

FAX モデム用の低コストのチップが開発されたおかげで、FAX をコンピュータに組み込む場合の費用はこれまでよりも安くなった。ボードメーカーは、低コストの部品を少量使用するだけで、Group3規格に完全に準拠したモデムを製造することができる。そのため、FAX モデムの価格は今や300ドルを切っている。ほぼ例外なく、コンピュータ用FAX モデムには、Rockwell CorporationのVLSI チップが使用されている。このチップによって、価格が下がり信頼性が向上しただけでなく、回線ノイズに対する耐性(または感受性)に関して、コンピュータ用FAX モデム間の差がなくなった。また、電話システムと Group3規格の両方に必要な信号について、完全な互換性が保持されている。

ただし、FAX ボードはすべて等しいというわけではない。4,800bps という半分の速度しか出せない一部のボードでは、FAX の送受信に 2 倍の時間がかかる。FAX に対して何も求める気がない場合には、このようなボードを選択すればよい(ただし、FAX についていろいろ学んでしまった今で

は、FAX に何も求めないということはないだろう)。ボード間のもう1つの違いは、インテリジェント機能である。FAX ボードにはインテリジェント型ボードとダム型ボードがある。

現行規格に照らせば、旧型 FAX ボードはダム型ボードということになる。FAX 文書の送受信は可能だが、ボード自体にインテリジェント機能がないため、送信のスケジューリングや多数の宛先への自動送信は行えない。また、動作のすべての手順をホストコンピュータが制御してやらなければならない。

対照的に、インテリジェント型 FAX ボードに はマイクロコンピュータが組み込まれている。ホ ストコンピュータは、ボードが行うべき動作を指 示し、動作の詳細はボード自体の頭脳が制御する。 このように作業を分担しているため、ホストコン ピュータは、FAXの送信時間に影響を与えずに、 マイクロプロセッサの能力をほかの処理に向ける ことができる。ダム型ボードでは、高速なビット 伝送速度でのデータ処理のために、コンピュータ のマイクロプロセッサの能力のほとんどを占有し てしまうため、バックグラウンドで FAX を送受 信することは不可能である。FAXボード上にマ イクロプロセッサがあれば、ボード側のマイクロ プロセッサが FAX 送信の負荷の大部分を担当す ることによって、コンピュータ側のマイクロプロ セッサがほかのアプリケーションを実行している 間に、FAX文書を処理することができる。そのた め、ホストコンピュータをほかの目的に使用して いるときでも、FAXの送受信が可能である。

ただし、FAX ボード上のマイクロプロセッサは、バックグラウンド動作に必須というわけではない。 ダム型 FAX ボードの中には、「DoublesDos」や「DESQview」などのように、専用ソフトウェアを使用するか、あるいはマルチタスク環境で使用することによって、バックグラウンドでの動作が可能なものがある。ただし、このようなダム型製品を使用すればバックグラウンドでの動作は可能だが、好ましくない点もある。コンピュータが複数のタスクに時間を割かなければならないため、システム全体の速度が低下するのである。

市販されている FAX 製品は、バックグラウンド

機能に様々な違いがある。FAX に関するタスクは 単一の作業ではすまない。FAX ボードは、ファイ ルの送受信だけでなく、ASCII ファイルから FAX フォーマットへの変換、発信のスケジューリング、 エラー管理 (発信時に話し中の信号を受信した場 合など)も行う必要がある。バックグラウンド機 能への需要が高まっているにもかかわらず、これ らの処理をフォアグラウンドで行う製品も依然と してある。

FAXに関する機能をすべてバックグラウンドで行う必要があるかどうかは、システムの利用方法と使用者によって異なる。一般的に言って、送信に関してはバックグラウンドで動作する必要はないが、受信に関しては必要である。

インテリジェント型の FAX 製品は、マイクロプロセッサ (それも、比較的高価な種類のもの)を装備しているという定義からいって、どうしても価格が高くなる。また、ホストコンピュータの介入なしに FAX ボードをバックグラウンドで動作させるためには、かなりの量の部品や補助回路が必要である。マイクロプロセッサ以外にも、64Kバイト以上の RAM や PROM などのチップが余分に必要になる。さらに、マイクロプロセッサを

搭載することで、開発期間がかなり延びることに なり、これがまたコストを押し上げる。

コンピュータベースの FAX システムの間で差が激しいのは、ソフトウェアである。大部分のシステムは、メニュー方式を採用して、複雑になりがちな処理を管理可能なレベルにとどめている。しかし、メニュー階層には製品ごとにかなりの差があり、リスト送信機能を例に取っても、操作が簡単に速く行える製品もあれば、複雑で手間がかかる製品もある。

そのほかの機能の差も大きい。たとえば、送信前や受信後にイメージの編集処理を行えるシステムもあれば、ほかのソフトウェアで処理しなければならないものもある。また、100ページの文書を一度に送受信することが苦痛にならないシステムもあれば、21世紀まで待たされるのではないかと思うほど時間のかかるものもある。

言い換えれば、コンピュータベースの FAX システムを選択するということは、単に FAX ボードを購入して、拡張スロットに装着するというだけの作業ではない。FAX 機能を活用するためには、最初に必要な機能が揃っている優れた製品を探し出さなければならないということである。

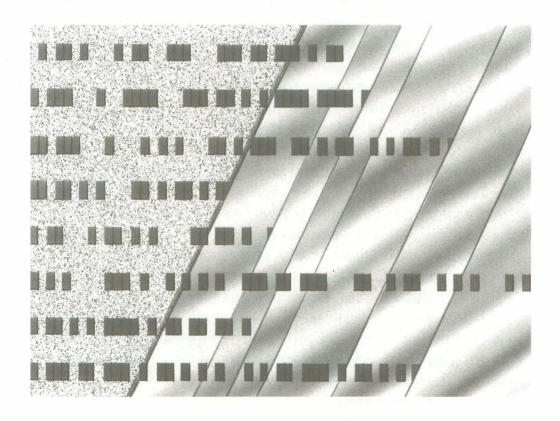
・ 作品を できる できる (1985年 1985年 1

•

166

第19章

大容量記憶システム



大容量記憶装置は、必要なデータを素早く格納したり引き出したりできる装置だが、メモリとしての用途には適していない。大容量記憶装置は、何 M バイトものデータを記憶し、それを瞬時に引き出せる設計でなければならない必要性から、従来より磁気ディスクが使用されてきたが、現在では、ほかの技術やフォーマットがそれぞれ専用の目的に合わせて使用されており、磁気ディスクに代わる大容量記憶装置の主流の座を狙っている。

"天才"と利口なだけの人の違いは、その記憶力である。どちらも素早く機知に富んだ反応を示すが、本当の天才は、本当の答を探すために、以前の記憶や経験や知識を活用する。パーソナルコンピュータもこれと同様である。

現在および将来において、必要なプログラムやデータを記憶する手段がなければ、パーソナルコンピュータにいくら高速なマイクロプロセッサを積んだところで、無意味である。このプログラムやデータの記憶手段の1つとして、長期間のデータ格納の役目を担っているのが大容量記憶装置である。

手元に置いておく必要はないが、捨ててしまうのは惜しいという情報を入れておく大容量記憶装置は、簡単にいえば"電子物置"である。麦わら帽子、スカッシュのラケット、壁紙の残りなど、物置に眠っているが、記憶からはほとんど消えかかっているような様々な持ち物を探すのと同じで、大容量記憶装置に入っているデータを探す場合、見つけ出すまでに意外と時間がかかることもある。また、整理しておかないと、いつまでたっても捜し物が見つからなかったり、すべての物が一斉に目の前に崩れ落ちてくることもありうる。

パーソナルコンピュータに使用する大容量記憶装置には、いくつかの種類がある。ほとんどのパーソナルコンピュータで主要な大容量記憶装置といえば、ハードディスク、そして容量は小さくなるが、フロッピーディスクドライブがこれに続く。そして、このどちらもが磁気記録技術をベースにしたものだ。また、特定の目的に合わせた記憶装置としては、これ以外の技術が日進月歩を続けており、特にレーザーを用いたオプティカルシステム(光磁気ディスクなど)の発達がめざましい。また、急いで取り出す必要のないデータを記憶する大容量記憶装置としては、テープストリーマなどがよく利用されている。

上記のようなメディアは、どれをとってみても大容量記憶装置特有の性質を持っている。何千バイト、何百万バイトという多量のデータを一度に扱い、情報をオンラインで記憶することもできる。大容量記憶装置では、その膨大な記憶能力を活用するため、データをマイクロプロセッサの直接的な制御の範囲外へ置いている。マイクロプロセッサからすべてのデータへ直接アクセスできるコンピュータのメモリとは異なり、大容量記憶装置に格納されているデータは、使用するには2つのステップを踏む必要がある。まず最初に、情報を大容量記憶装置からコンピュータのメモリへと移さなければならない。その後でマイクロプロセッサによってアクセスが可能となるのだ。

大容量記憶装置はオンライン、オフラインのどちらでも使用できる。オンラインの記憶装置として使用すれば、マイクロプロセッサからのコマンドで、即座にアクセスが可能だ。また、オフラインで使用すれば、ここからシステムに必要な情報を与えるまでに、いくらかの手間はかかる(カートリッジをドライブに入れることなど)。ニアライン (near-line) 記憶装置という用語が使われることがあるが、これは情報がすぐに使用できるようにはなっていな

いものの、マイクロプロセッサのコマンドですぐに使用できるところに移動させることができるシステムを指している。「ジュークボックス」という名前が付けられた CD-ROM カートリッジ (テープカートリッジのこともある) の自動選択装置がニアライン装置の最も良く知られた例である。

情報を大容量記憶装置からメモリへと移す場合に決め手となるのは、保存してあるデータへどれだけ速くアクセスできるかということである。このアクセスに要する時間は、最も速いハードディスクで 0.01 秒以下というものもあれば、テープシステムでは 1,000 秒もかかる場合もあり、その差は 10 万倍にもなる。

オフラインとオンラインの記憶装置を基本的な性能だけで見た場合、最も良いオフライン記憶装置でも、最速のオンラインシステムと比べれば、アクセス時間はかなり長い。最も速いディスクカートリッジでも、オフラインデータへの最短アクセス時間は数秒という単位になってしまうが、これは必要なカートリッジを見つけてからロードするまでに時間がかかるためである。一方、最も遅いオンライン記憶装置と最速のオフライン記憶装置のアクセス時間は大体同じ位である。オンラインになっていても、長いテープに書き込まれたデータのを探し出すのに比べれば、オフラインでカートリッジを用意するのにかかる時間は、かなり短いといえるからだ。

大容量記憶装置では、速度以外にも様々な点に違いがある。容量の点で見れば、160K バイトで片面記録のフロッピーディスクドライブから、何 G バイトもの容量を持つヘリカルテープシステムまで様々である。コストの点でも、100 ドルのものから 10,000 ドルのものまである。

このように実に様々な選択基準がある中で、自分が使う装置を決定する場合は、大容量記憶装置の基礎となっている技術をよく調べることだ。大容量記憶装置のシステムはいずれも、1つの原則で統一されている。すなわち、記憶する情報をビット単位に分離し、組織化するために、ある種の機械的な動作を使用するということである。つまり、データの各ビットを保持するために、記憶メディアに対して何らかの物理的変化を加えるのである。穴を焼き付けたり、ビットの一部を消去したり、色を変化さたり、あるいは、最もよく行われているのが磁界を変えるという物理的変化である。

19.1 磁気記憶装置

コンピュータ用の大容量記憶装置としては、磁 気記憶装置が長い間好んで使われてきた。磁気記 憶装置における一番の長所は、不揮発性であるこ とだ。つまり、大抵の電子式、つまり半導体記憶 システムとは異なり、磁界を使った記憶装置の場 合、一度記憶すれば、その状態を維持するために エネルギーを時々与えてやることなどは必要ない のである。

要するに磁気記憶には永続性があるということだ。磁界には半永久的に不変というすばらしい特性がある。それ自身では動いたり変化したりはしない。一方、電気回路で用いられる電気はまったく逆の性質を持っている。電気は常に動いており、可能な限り素早く自らを放散させる性質を持っている。この違いは基本的なところにある。磁界は原子のスピンによって作られ、物理的に位置が固定される。また、電荷は動く素粒子(主に電子)によって運ばれるが、一箇所に留まることを拒むだけでなく、ひとつひとつの電荷がどこへ進むか予想することはできないようになっている。

しかし、適当な力を適度な量与えると、磁気のスピンは不安定になりいろいろな方向へ向かって動きはじめる。磁界は完全に永久的というよりはむしろ変化を受けやすい性質であるため、磁気はデータ記録に適しているのである。もし磁界が永久的で変化しないものであったなら、情報を記録できないということになってしまう。また、磁界が変えられないとしたら、情報に何かを付け加えることもできなくなる。これはちょうど、ダイヤモンドに文字を刻もうとする場合に、道具がバナナしかないという場合と同じである。ダイヤモンドのどの面にも、決して文字は刻めないのである。

基本的な素粒子のレベルで見ると、磁気のスピンは永久的であるが、これが集まった場合は、あちらこちらへ動き回る。単一のスピンは一つの方向しか持たないが、その方向はどちらでもとりうる。2つの近接した素粒子が互いに逆方向のスピンを持つと、より大きなマクロ的視点から見れば、

これらの素粒子は互いに打ち消し合う。

このようにスピンの方向が変わる場合には、何らかの力が働いているのだが、これこそが磁気記憶装置が働くための鍵となっている。この力は磁界に変化を与えることができ、一度この磁界が変化すると、ほかの力が働きかけてくるまでは、その力がその状態を維持し続けるのである。

磁界を最もよく変化させるものは、外部からの別の磁界である。永久磁石の中には、十分に熱するだけで消磁されてしまうものがあるが、この消磁という現象も、実際のところ、磁性体内部の無数の微小磁界の相互作用によるものである。

電子技術と記憶システムは、それぞれ働きが異なっているにもかかわらず、磁力や電荷は同じ基本的な自然力を示すものである。どちらも電磁現象というわけだ。その共通性のため、特に電子技術設計者は磁気記憶装置を好む。磁界は電気エネルギーの流れで作ることができる。したがって、次第に消えて行く電荷でも半永久的な磁界を作ったり変更したりするのに使用できるのである。これはちょうど、いつかは死んでゆく彫刻家が何世代にも渡って生き残る彫刻を作ることができるということにも似ている。

一度出来上がってしまえば、磁界というものは 基本的には自分でそれを維持することができる。 磁界とは、基本的に全宇宙を構成している微細な 素粒子によって示される特性であるため、維持す る場合にもエネルギーは必要としない(少なくと も現在の物理学ではそのようにいわれている)。基 本要素の素粒子を超顕微鏡的に見ると、磁界を形 成しているスピンは、大抵が変化できないように なっており、実際に変化もしていない。普通はこ のスピンからは何も引き出すことはできず、この スピンによって何らかの作用が発生する場合でも、 スピンは、たとえば、大量に使用して電荷の流れ をそらすなど、ほかの電磁現象に影響を及ぼすこ とができる。しかし、このような場合、システム のすべてのエネルギーは電気の流れから生じている。磁気はゲート(門)の役割を果たしており、棚から逃げようとする牛にあたるものが電子である。

記憶システムにおいて有用な磁界は、我々が見ることのできる物における変化を計測したり、その変化に影響を及ぼしたりできるほど大きい。このような大きさの磁力は、基本要素のスピンである、たくさんの微細な磁界が集まった結果生じたものである。磁界は超顕微鏡的な(電子顕微鏡でなければ見えないような)素粒子が持つ1つの性質である(厳密には、磁界は素粒子そのものから作られていると現代の科学ではいわれているが、我々がコンピュータの磁気記憶装置を考える場合にはそこまで細かく考える必要はないだろう)。

磁気素材

鉄、ニッケル、コバルトの3元素は、磁性を帯びることができる。この磁性物質では、ほかの性質と同様に、混ぜて合金にすることで磁性の強度を高めることができる。合金にする場合、磁性物質同士で混ぜ合わせるだけでなく、非磁性物質(特にサマリウムのような希土類金属)と混ぜ合わせることもある。

分子レベルでは、素粒子がそれぞれ固有の磁界を持っているものはたくさんある。しかしその素粒子も肉眼で見えるレベルでは磁石のようには作用しない。これは、構成する素粒子がランダムに寄り集まっているため、それぞれの磁界を打ち消し合っているためである。一方、永久磁石における素粒子の大半は、同一方向へ向かって並んでおり、この素粒子によって、その元素の磁界が出来上がるのである。

いくつかの物質は磁性を帯びることができる。 つまり、その物質を構成している素粒子の持つ磁 界が、実際の大きな磁界となって現れることがで きるということだ。たとえば、軟鉄を強い磁界に 置いた場合、その軟鉄は磁気を帯びるようになる。

磁気記憶装置

電磁石によって強い磁界を作ることができれば、 それから磁気記憶装置システムを作ることが可能 になる。電気エネルギーは磁界を変えるときに使 用でき、そのエネルギーはその後で取り除くこともできる。ひとかたまりの軟鉄を、電気を加えていない電磁石に付けて放置しておく実験を考えてみよう。あなたがその場所を離れていた間、電磁石に電気を通した人がいないかを調べるには、その軟鉄に磁界ができていないかを見るだけでわかる。1ビットの情報を記憶することは、この原理と同じである。

もっと多くの情報を記憶するには、情報をうま く並べる必要がある。ひとつひとつのビットの並 び方を知らなければならないのである。磁気記憶 装置システムでは、データがうまく連続して移動 できるような形に、情報が物理的に並べられる。 つまり、ミリ秒という短い時間の内で明滅する電 子的な光点の代わりに、磁気のパルスが、紙の上 に点を並べて描かれたような、始まりから終わり まで一本につながった長いチェーンとして記憶さ れるのである。このような物理的な配列だと、紙 に並んだドットを走査するだけで、シリアル転送 システムに用いられる一時的なデータ配列へと直 接変換できる。最初のドットは、連続した流れの中 の最初のパルスとなり、それに続くドットのひと つひとつは、紙が走査されるのに合わせて、デー タの流れを正確に追っていくのだ。

磁気記憶装置では、紙の代わりにほかの形態のメディアを使用する。一般的には、磁気的に反応する混合物を塗ったディスクや、プラスチック製の長いリボンが使用されている。メディアの形態は、システムから情報を検索するスピードに直接的な影響を与える。

デジタル磁気システム

コンピュータ用の大容量記憶システムは、オーディオ用やビデオ用に使用されているテープシステムとは、基本原理や操作性の点で違いがある。オーディオ用やビデオ用カセットテープは、アナログ信号で記録するようになっているが、コンピュータ用の場合はデジタル信号が使用されている。

ここ数年のうちに、デジタル方式のオーディオテープレコーダやビデオテープレコーダは、ますます購入しやすくなってくると思われる。アナログ方式のオーディオテープやビデオテープは、レ

コード盤がコンパクトディスクに取って替わられたように、歴史を説明するだけのものとなっていくだろう。

アナログ方式のシステムでは、テープ上に書き込まれた磁界の強さは、記録された信号に比例して変化する。記録された磁界は6段階以上もの範囲の磁力の強弱をつけることができる。一方、デジタル方式の場合では、通常、パルスのパターンによるコードを使って記録を行ない、すべてのパルスは完全に同じ強さを持っている。

アナログからデジタルへと技術が移る根底となっ ているものは、正確さを第一に考えているデジタ ル記録の性質である。アナログ記録をどうしても 劣化させてしまうノイズについては、デジタル記 録はその影響を受けないような工夫がされている。 アナログ記録でコピーが取られるたびに、必要な 信号に付きまとうノイズは、基本的には倍々になっ ていく。これは、必要な情報の部分はそのまま変 わらないが、元の情報に存在するノイズが、記録 先のメディアに存在するノイズに上途りされて2 倍になるためである。しかし、アナログ記録にとっ て、このようにノイズを加えていくことは、ニュ アンスを維持して記録する上では必要なことであ る。アナログ信号においては、ほんの小さな変化 が加わっただけでも全体の情報に影響を及ぼすの だ。そして、アナログ方式では、その変化がノイ ズであるか、必要なニュアンスであるのかの区別 を付けることはできないのである。一方、デジタ ル方式ではノイズと信号を明確に区別することが できる。デジタルスレショルド(論理限界値)より も小さなノイズは情報として記録されず、その場 合にもニュアンスを失うことはない。このように、 デジタル記録システムでは、コピーを作る際にも そこにノイズを介入させないようにすることが可 能である。また、アナログ記録の場合は、メディ アの劣化によってもノイズが侵入する可能性があ るが、デジタルの場合は、年数が経ってメディア が劣化した場合にも、大抵のノイズは除去できる。 実際、うまく設計されたデジタルシステムでは、 信号における小さなエラーでさえも訂正が可能と なっている。

飽和状態

デジタル記録では、磁界の強さの違いをすべて 無視しているため、きわめて強い場合を除いて、 ノイズは除去できる。デジタル方式のパルスで記 録された情報は、"有""無"という明確な区別の仕 方でデジタル記録が行われる。アナログ方式の場 合は、メディア上にごく小さな磁性粒子を並べる ことで、磁界の強さに変化を付けている。アナロ グ記録では、電磁石の磁界が強くなるにつれ、磁 界の強さとほぼ比例して、より多くの微小な磁性 粒子が磁界に並ぶことになる。一方、デジタル方 式の場合は、信号の中間レベルを気にする必要が ないため、単にテープが保持可能な最も強い磁界 を並べていくだけでよい。水を一杯に含んだスポ ンジがそれ以上の水を吸えないのと同じように、 テープ上の磁性粒子が限界の強さまで磁界を持っ たとき、この状態における信号のレベルのことを 飽和状態と呼ぶ。

磁気を持たない状態から飽和状態までの幅を持っ ていることによって、磁気記録では幅広く磁界の 強弱が付けることができ、あいまいさを廃するデ ジタル情報の記録には適していると思われるが、 このように白黒をはっきりと区別させることは容 易なことではない。磁気記録のシステムでは、可 能な限り高密度で情報を記録できるように、1つ の磁性粒子で1ビットのデータを記録するぐらい にまで情報を詰め込んでいる。磁性粒子を消磁す ることは非常に困難だが、磁性粒子の極性の向き を変えることは比較的容易である。デジタル方式 の磁気記録システムでは、このような極性の変更 を利用しており、テープ上の磁性粒子が持ってい る磁界の向きを変えることでデータを記録してい る。磁気記録のシステムでは、一方向に磁界が飽 和状態になったテープと、その反対方向に磁界が 飽和状態になったテープとの違いが重要なのであ る。今日のデジタル方式の磁気記録システムでは、 ほとんどすべてがこの大きな差を利用している。

保磁力

磁気メディアについての記述を読むと、**保磁力** という言葉を目にすることだろう。これは、磁界 がどれだけ強く変化に耐えることができるか、い い換えれば、磁気メディアがどれだけ強い磁界を 記録できるか、ということになる。どのようなメ ディアでも最初からノイズを含んでいるため、そ れに対抗できるように、できる限り強い磁界で情 報を記録する方が望ましい。高い保持力を持つメ ディアは、保持力の低いものより変化に対する耐 性が強いため、外部からの影響による変化や保持 力の低下にも強い。当然、このように、より高い 保磁力とそのより大きな変化への耐性が求められ るということは、磁気記録のシステムでは、メディ アを最大限に磁化させるためには、より強い磁界 が必要であるということだ。また、これを扱う機 器においても、高い保磁力を持つ素材を活かせる ような特別の設計がなされなければならないので ある。

その性質上、メディアと機構が一体化されているハードディスクの場合、メディアの保磁力と記録装置の組み合わせはメーカーによって決められている。この2つの組み合わせはハードディスク装置が製造されたときから最後まで変わらないのである。しかし、メディアを取り出すことのできる装置(フロッピーディスクドライブ、カセットテープ装置など)では別の問題が生じることがある。メディアによって様々な保磁力がある場合、ドライブに間違った保磁力のメディアを使ってしまう可能性が出てくるのである。この問題は、フロッピーディスクを使う際に費用をケチって、HDまたはED用のドライブにDD用のフロッピーを使おうとした場合などに、ときどき起こることなのだ。

また、ドライブとメディアを適合させる場合に、アップグレードも難しい問題としてあがってくる。より高い性能を持ったメディアを使うためには、それに合わせてハードウェアをアップグレードさせなければならない。メディアが発達しても、それ以前のハードウェアを使用していると、より高い性能は引き出せない場合がある。

記憶メディアが小さくなっていくのに従って、 それに使われている磁気素材の保磁力も増加して きた。メディアが最初に持っている磁界が強くな れば、データが記録される場所はより小さくてす む。保磁力が高くなるにつれて、より多くの情報 を、新しい記憶フォーマットのより小さく限られ た中に押し込むことができる。たとえば、3.5 インチフロッピーの磁気コーティングの保磁力は、5 インチのそれよりも、ずっと高いものになっている。また、DC2000 テープカートリッジの場合は、旧来の DC6000 よりもずっと高い保磁力を持っている。現在ある小型のハードディスクドライブは、昔の大きなものと比べると、はるかに高い保磁力を持っている。

保磁力は温度によって変化する特性である。メ ディアの温度が高くなるにつれて、メディアが磁 界の変化に耐えられる力は減少する。これは、永 久磁石を加熱すると磁力が無くなってしまうのと 同じ理由である。磁気メディアでは、キュリー点 と呼ばれる、物質ごとに異なる温度を境として、 保磁力が一気に低下する。光磁気方式の記録シス テムでは、レーザー光線を使って磁気メディア上 の小さな範囲を加熱し、メディアを傷めない程度 の強さで磁界を変化させるという方法で、このよ うな保磁力の変化を活用している。キュリー点よ り高い温度で加熱された範囲(磁気の影響を受け るすべての範囲ではなく)だけが、外部の磁界に よって変化する。レーザー光線は、従来のディスク ドライブにおける読み書きヘッドより、はるかに 小さな点へ正確に焦点を当てることができ、デー タをメディア上のより小さな領域に記録すること ができる。光学技術の助けで、同じサイズの磁気 ディスクでも、より多くのデータを記録できるの である。また、光磁気方式のメディアでは、常温 に保たれている限り、磁気ノイズ(保磁力の低い磁 界を変える可能性がある)の影響を受けない耐性 がある。

保磁力を計測するときの単位は、エルステッド (Oersted) である。フロッピーディスクの保磁力は、300~750 エルステッドとなっている。光磁気ディスクドライブのメディアにおける保磁力は、6,000 エルステッド以上もあることが多い。

残磁性

磁気メディアについての記述で見かけるもう 1 つの言葉、残磁性とは、メディアがそこに発生した磁界をどれだけの間保持、記憶できるかを示す 性質である。磁気メディアは、永久に磁界を記録 することもあるが、記録されている磁界は、記録された瞬間から劣化が始まる。いわゆる永久記録におけるこのような劣化を防ぐためには、この磁気的に記録されたデータを、定期的にリフレッシュしてやる必要がある。たとえば、メインフレームのコンピュータライブラリーで記録したテープは、定期的に(数ヵ月に一度から数年に一度。記憶装置を管理している人の考えや、偏執症の度合いによって異なる)リフレッシュされる。目に見える劣化が確認できるまでには数年はかかる(10年以上のこともある)とはいえ、テープを管理している人は、リフレッシュなしで大昔に記録されたままメディアに信頼を置くことはできないだろう。

もし、あなたが磁気記録が永久とはいえないこ とを心配するならば、専門家が行っていることと 同じ、記憶装置のリフレッシュを行えばよい。リ フレッシュは実際の作業としては、バックアップ を取った後にハードディスクを復元したり、フロッ ピーディスクのコピーを取ったり、単に新しいテー プへバックアップを取っておくことなどである。最 も使用度が高く、かつ使用において気を使うこと も多い記憶メディアであるハードディスクでは、 完全なリフレッシュを行うためには余分な手続き が必要となる。最初にハードディスクのバックアッ プを取ったあと、データを復元する前に、再フォー マットをし、領域を確保しなおすのである。低レ ベルのフォーマットでディスク上に付けられるア ドレスマークも時間の経過によって劣化し、この ような磁気マークは低レベルのフォーマットを行 う過程でのみ書き込まれる(または書き込みし直 される) ため、単純な DOS フォーマットよりも低 レベルの再フォーマットの方が望ましい。このよ うなセクタのマークを不注意で変更してしまうと、 "Sector Not Found (セクタ未検出)"やそれに類 するエラーが表示されることもあり、DOS では データの修復が不可能となる。低レベルのフォー マットでこのようなデータを書き込みし直すこと で、始末に負えない古いディスクも若返らせるこ とができる。

Symantec Corporation の「Norton Utilities」 や、Central Point Software の「PC Tools」など、

数種のハードディスクユーティリティソフトは、特 別な"非破壊"低レベルフォーマット機能を持って おり、これを使うことでハードディスクを若返ら せることができる。その場合は、ディスク上のあ る場所に記録されているデータを、そのディスク の別の場所にいったんコピーし、元のセクタを低 レベルで再フォーマットすることでリフレッシュ した後(セクタの識別マークも含む)、元のデータ をトラックに書き込み直すということが行われる。 これらのソフトウェアの良い点は使いやすいとい うことだ。これらのユーティリティソフトでは、 ディスクを若返らせる作業をする場合に、ディス ク全体のバックアップを取っておくことを勧めて いるが、バックアップディスクをすべて復元する 必要はないようになっている(まれにではあるが、 この作業がうまくいかなかった場合のために、バッ クアップを取っておくのである)。

磁束遷移

デジタル情報の"1"と"0"は、通常は、磁界が 向いている絶対的な方向を表わしているのではな く、ある方向から別の方向へと磁界の向きが変わ ることに対応している。一方向の飽和状態から反 対方向の飽和状態への変化は、磁気変化の中で最 も検出しやすいというメリットがあるのだ。この 磁界の劇的な変化は、磁界または磁東が2つの状 態の間で遷移することから、磁束遷移と呼ばれて いる。最も単純な磁気記録システムの場合、磁束 遷移はデジタル情報の"1"と"0"の間の遷移を指し ている。

当然のことではあるが、システム内ではいつ磁 束遷移が起こるかをわかっていなければならない。 さもなければ、情報を見逃してしまったことにずっ と気付かないままになってしまう。磁気メディア と記録システムは、システム側が磁束遷移が発生 した時点がわかるように、お互いに同期していな ければならない。デジタル記録では、最初に考え ていたよりも複雑な仕組みが必要なのである。デ ジタル方式の磁気記憶では、1ビットずつ単純に 記録するというのではなく、データを整然とした 状態に保つ精巧な符号化システムが必要となる。

19.2 データの符号化

1つのデジタルビットを記録するために、1つの磁束遷移を割り当てるということは可能だが、これは最良の方法とはいえない。たとえば、磁束とデータの関係を1対1に対応させた場合、エラーを防ぐために、記録メディア上のパルスの列を回路構成上のデータ読み取り期待値と完全に同期させなければならず、実際にはメディアの速度をデータ転送率の期待値に厳密に一致させるといったことが必要になる。両者が一致していないと、すべてのデータは読み取りや書き込みが正しく行われなくなってしまう。メディアの速度とデータ転送率とを一致させるには、ディスクを数回転させなければならないが、同期状態に戻るためには、1回転ごとに十数ミリ秒以上の時間が必要になるだろう。

磁気ディスク上で余分に磁束遷移を発生させることによって、磁気メディアのひとつひとつの磁束の変化の意味の定義付けを補助すれば、正確な速度制御や、記録されているデータを同期させるための物理的な方法をほかに用いる必要がなくなる。一般的なすべての磁気記録システムでは、データを非同期的に記録するのに都合の良いこの方法を用いている。しかしながら、同時にこのようなすべての非同期式記録方式では、同期されていない磁束遷移によるパルスの列から意味を捉えるのを助ける制御情報が必要になる。

単密度記録

初期における磁気デジタル記録方式の1つとして、周波数変調 (FM) 記録と呼ばれるものがあるが、この記録方式では、磁束遷移が起こり、デジタルビットが記録されていく所に、クロックビットと呼ばれる特別な磁束遷移によって印が付けられる。このクロックビットによって、システムの同期化を可能にする周期的なパルスの列が形成されるのである。2つのクロックビットに対応する磁束遷移の間に磁束の変化があれば、それはデジタルの*1″を表わしているのであり、クロックビッ

トの間で磁束遷移がない場合はデジタルの "0" ということになる。

この FM 方式では、周波数にはある程度の幅の 許容範囲がなければならない。つまり、FM 方式 では、クロック周波数が完全に正確でなくても、 クロックビット間でパルスビットがあるかないか を確実に検出できるのである。また、FM 方式で の帯域幅は非常に狭いため、回路の許容範囲はそ れほど重大な問題とはならない。一方、FM 方式 の欠点は、データの各ビットを記録するのに 2 つ の磁束遷移が必要なため、ディスク上の実質的な データ記録密度が最も低くなるということである。

初期のデジタル磁気記憶装置では FM 技術が使用されており、しばらくの間は FM 方式が主流となっていたが、データ記録の方法が進歩してからは、FM 方式は参考技術といった存在となっており、単密度記録と呼ばれることも多い。

倍密度記録

単密度という言葉があるからには、何かこれよりも良い技術があるのではないかと思われるだろうが、それが修正周波数変調(MFM)記録または倍密度記録と呼ばれるものである。この記録方式はかつてパーソナルコンピュータのハードディスクにおける符号化システムとして広く使用されていたもので、現在でもパーソナルコンピュータのフロッピーディスクドライブに使用されている。倍密度方式では、単密度記録方式の障害となっていたクロックビットを削除することによって、磁気メディアに倍の密度で情報を詰め込むことを可能にしている。

倍密度記録方式では、クロックビットの代わりに、一定の期間内で磁束遷移がなければデジタルの"1"とし、ない場合には"0"とする形で記録が行われる。磁束の遷移が離れすぎないように、"0"が連続する場合には、必ずその間に特別な磁気反転が追加される。

GCR方式

倍密度記録では、基本的にデータの1ビットごとに1つの磁束遷移を行うが、これはディスクに情報を詰め込む上で最も密度の高い方法ではない。 倍密度記録と比べてさらに2倍の情報をシステムの中に記録できるほかの符号化技術がある。

FM 方式と MFM 方式では、データのビットとディスク上の変化の関係が一対一で対応しているという共通の特徴を持っている。両者のこのような関係は、情報を符号化するのにわかりやすい方法ではあるが、これが唯一の符号化の方法というわけではない。さらに、このような厳密な関係では、必ずしも記憶メディアは最大限有効に利用できない。

データの符号化においてこれに代わる基本的な方法は、ビットのグループを磁気記憶メディア上に磁気パターンとしてマップするという方法である。この方法で情報を符号化することを GCR 方式 (Group Corded Recording) と呼んでいる。

群符号化(グループコーディング)は見た目はバイナリの暗号のように見える。アルファベットの各文字をほかの何かに対応させるといった、極端に単純化された暗号に使用される秘密のコードのように、グループコーディングでは、"T"を遷移(Transition)、"N"を遷移なし(No transition)として、磁束遷移のパターンを"TTNT"のように記録する。

簡単な翻訳と同じで、置き換えるだけでわかってしまうような秘密性のほとんどない暗号は(暗号解読の初歩的な知識を持っていれば誰にでも数分で解読できてしまう)、記憶システムにとっては有効とはいえない。このような簡単な暗号が有益となるのは、磁束遷移にとって記録が簡単な特別なパターンを使用して、それぞれのデータグループを記録できる場合であり、普通はデータグループのビット数よりも磁束遷移の数のほうが多いものだ。記憶装置の容量は、実際には磁気メディアにおける磁束遷移の間隔であるため、この技術は面積あたりのデータ密度を高くすることに成功している。磁気メディアの性質やディスクの回転速度、読み書きヘッドの設計によって、そのメディアの磁束遷移の最大および最小の間隔が決まる。磁束

遷移の間隔が狭すぎた場合には、読み書きヘッド がそれらを区別できなくなり、また、間隔が広す ぎると、うまく検出できなくなってしまう。

記憶装置に対して人為的に制限を加えることにより、メディア上の磁束遷移に必要な間隔の限界内で、より多くの情報を詰め込むことが可能となる。

RLL 方式

GCR 方式は、磁束遷移を扱うことのできる範囲内で、記憶メディアにより多くの情報を記録するために、複雑な形式のデータ加工を行うように設計されたものであるが、この方式の特殊なケースがランレングス制限 (RLL) である。RLL の中で最も一般的な 2,7 という形式では、1 バイトのデータはそれぞれ 16 個の磁束遷移からなるパターンへ変換される。

このデータ加工では、一定の情報量を記録する ために、2倍の数の磁束遷移によるビットが必要 となるが、8ビットデータのすべてのコードを記 録するのに、16ビットのコードの総数のほんの一 部分しか必要ないという長所がある。8ビットの コードは256個であるのに対し、16ビットのコー ドは65,536 涸あるわけだ。したがって、システム を設計する技術者は、1バイトのデータひとつひと つに対して、16ビットコードというきわめて大き な範囲の中から選択ができるというわけだ。設計 者は頭を働かせることができれば、ディスク上に 簡単に記録できる磁束遷移のパターンを見つけら れるだろう。2,7 RLLシステムでは、連続する16 ビットデータの磁束遷移の中で、2個から7個ま でのデジタル 0 の間にそれぞれのデジタル 1 が来 るように、16ビットのパターンが選択される。2,7 RLL の方式を順守せずに不法に作られた16ビッ トのコードパターンは、磁気記憶装置内のデータ ストリームの中ではけっして現れない。

この符号化システムでは、データを符号化するのにビット数の2倍が必要となるが、データストリーム内のパルスは、記憶メディアの磁束遷移の限界内にうまく収まる。実際、この2,7 RLLのコードによって、磁束遷移は倍密度記録より3倍の間隔を持って発生することになるが、これは、デジタル1しか磁束遷移を発生させず、その間に少

なくともバイナリ3つ分のスペースが必ず空くからである。8 ビットから16 ビットへの変換が行われているため、データストリームのコードビットは2 倍になるが、磁束遷移に対応するコードビットは、MFMの場合と同じ間隔を維持していながら、磁気メディア上の距離は3分の1となる。したがって、2,7 RLLを使用した場合、MFMと比べて50%も記録密度が高くなる。

より高い密度の記録を行うRLLの欠点をあげるとすれば、より高いデータのスループットを扱うために、複雑な制御や広い帯域幅が必要となり、記憶装置に高度な電気技術が必要となることである。

アドバンスドRLL

より進んだ RLL 方式の符号化システム (3,9 RLL またはアドバンスド RLL と呼ぶ)では、ディスクの記録密度を高めるだけでなく、古い形式のディスクにも効果がある。3,9 RLL は 2,7 RLL とは異なるコードを使って、連続する 0 の数が 3 から 9 の間になるようにビットパターンを変更する。3,9 RLL でも 8 ビットから 16 ビットへの変換が行われる点は変わりないが、デジタル1 は確実に4 ビット以上の間隔を置くことになる。結果として、3,9 RLL では、データを 4 倍の密度の磁束遷移として記録することができる。正味の利得は、

データ変換における損失を考慮すると、100%の増加ということになる。通常の倍密度記録技術と比較すると、3,9 RLLでは2倍の密度で記録できるわけだ。

この普通では考えられないようなデータ記録技 術は、ほとんどのデータ記憶装置で必要とされた 様々な人為的な制限を克服するところから生まれ てきたものである。つい最近までは、大抵の記憶 装置は倍密度記録方式で設計されており、自分自 身と制御回路との間の接続については、厳密に定 義されたインターフェイス規格に従っていた。と ころが、ハードディスク用の新しいインターフェ イス方式では、データの符号化とコンピュータホ ストに送られるデータストリームとは分離されて いる。これにより、ドライブ装置のメーカーは、ど のようなデータ符号化方式でも自由に選べるよう になったのであるが、その方式がどのように違う のかは使用者にはまったくわからない。したがっ て、最近のハードディスクドライブでは、使われ ているデータ符号化形式が明らかにされることは めったにない (メーカーの仕様書を目を皿のよう にして見る機会があれば別だが)。最先端のディス クインターフェイスを使用している人は、この情 報を見たところで自分には無関係であることがわ かるだけだ。

19.3 データ圧縮

グループコーディングにおいて、入力されたデータの各ビットパターンと、それによって作られる磁束遷移との対応は、データストリームのほかのビットパターン列とは無関係である。それぞれのパターンは、磁束遷移自体のパターンと直接対応している。グループコーディングシステムでは、ビットパターンを簡単に磁束遷移と適合させることができ、データの各バイトにおいて最適な記録密度を実現できる。

しかし、多くの情報を記憶メディアに押し込む 方法としては、グループコーディングが最も効果 的な方法であるわけではない。データストリームにあるバイトの多くは重複している。その情報内容は、何か別の方法を用いれば、もっと少ないバイト数で表わすことができるのだ。グループコーディングは、その内容までは考慮することなく、個々のバイトからなるデータストリームを表わそうとするもので、各パターンが正確に作り直されるだけである。グループコーディングを用いても、実際の情報がデータストリームの中で、可能な限り効率的に符号化されているという保証はどこにもない。

グループコーディングのメカニズムが、ごく部 分的な見方をベースにして考えられているのに対 し、データ圧縮システムではもっと全体的な見方 を採っている。バイトごとのビットのパターンよ りもバイトのパターンを調べることにより、圧縮 システムはより効率の高いパターンを探そうとす るのである。データ圧縮システムが目標とすると ころは、重複部分を取り除き、内容以外の重荷を 切り放すことである。いい換えれば、圧縮システ ムはデータストリームに混ざり込んでいる空気を 絞り出すようなものだ。あるいは、気球から空気 を抜くことにも似ている。300フィートほどしか 飛べないぐらいに空気が抜けてしぼんだ気球も、 ヘリウムガスを入れると元の大きさに戻り、また 飛べるようになる。これと同様に、データ圧縮で も、"太った"ファイルを可能な限り"痩せた"状態 にしておき、後で解凍処理を施すことで元の形に 戻すことができる。

大抵の圧縮システムで使われているのが、デー タストリームの中で繰り返し現れるパターンを代 用の短い記号で表わすという方法である。たとえ ば、2 バイトのパターンである "at"を 1 バイトの "@"で表わすことができるが、この場合、記録に 必要な容量は半分に減少する。ほとんどの圧縮シ ステムはビットパターンに代用の記号を固定して 割り当てるのではなく、その代わりに、転送中に 随時割り当てを行っている。圧縮はデータブロッ ク単位に行われ、ブロックごとに割り当てが行わ れるのである。したがって、1ブロックの記号で 記憶されたビットパターンが、次のブロックで使 われたビットパターンとはまったく異なるという こともありうる。記号からビットパターンを解読 するための鍵は、データストリームの一部分に含 まれている。

圧縮率とは、圧縮前のデータを記憶するのに必要な容量と、圧縮後のデータを記憶するのに必要な容量を比較した割合である。たとえば、90%の圧縮率といった場合は、圧縮によって記憶に必要な容量は90%少ない、つまり、圧縮後のデータは元のデータが必要な容量の10%の容量で記憶できるということである。

無損失圧縮と損失圧縮

ほとんどの圧縮システムでは、記憶した全バイトと全ビットは完全に元に戻せるように考えられている。しばんだ気球にポンプでへりウムを注入したとすると、この場合に期待されるのは気球が膨らむことで、灰色のゴルフボールができることなど誰も考えない。圧縮システムもこれと同じで、プログラムからスプレッドシートやコマンドがなくなっていては困るのである。圧縮したデータを解凍する場合、1ビットも失うことなく、最初にあったものを完全に取り戻したいと利用者は考えるのだ。このようにすべてを復元できるプロセスのことを無損失圧縮システム (lossless compression systems) と呼ぶ。

しかし、解凍後のデータに必要でない部分が含まれている場合もある。たとえば、1枚の写真を true カラーの 24 ビットスキャナーで読み込み、256 色しか出せない VGA システムで再生した場合を考えてみると、スキャナーで読み込んだ精密な色情報のすべてはディスプレイ上で無駄になると同時に、それを記憶するためのディスクスペースはもっと効率よく使用することができそうだ。

アナログのイメージデータがデジタルデータに変換された場合や、逆にデジタルのものがアナログデータに変換された場合、ほとんどの人には気付かないぐらいの微妙な差異が生じている。このデータ量を減らす仕組みは損失圧縮システム(lossy compression system)と呼ばれているが、このシステムでは、このように細かいニュアンスについては無視している。再構成されたデータは、元のデータを完全には再現していない。多くの場合、データを一覧したり、リストを見たりするだけなら、この再構成したデータでも十分である。損失圧縮システムは無損失圧縮システムと比べて実行速度が速く、圧縮率も高いため、デジタルイメージや音声の記録など、時間やスペースが問題となるアプリケーションに使われることが多い。

圧縮の実現

圧縮は、ほかのいろいろな操作と同様に、マイクロプロセッサによって行われる単なるデータの変換である。したがって、今持っているパーソナ

ルコンピュータのマイクロプロセッサも、普通の ソフトウェアプログラムを使って、すぐれたデー 夕圧縮装置に変えることができる。

このようなソフトウェアによる圧縮システムに よって、ディスクやテープの実質容量を増やすこ とができる。ソフトウェア圧縮システムのいくつ かは、ソフトウェアドライバの形で働く。つまり、 ハードディスクへ向かうデータを途中で奪って、マ イクロプロセッサによって実行される圧縮アルゴ リズムによってそのデータの経路を変え、そこを 通ったデータを元のデータの代わりにハードディ スクへと送るのである。テープのバックアップシ ステムの多くは、専用の圧縮システムが組み込ま れており、ハードディスクからテープ(またはフ ロッピーディスク) ドライブへと向かうデータを変 換するようになっている。いずれの場合でも、圧 縮されたデータを後で読み出すときは、圧縮され たデータストリームを捕まえて、圧縮アルゴリズ ムの逆の解凍アルゴリズムで全バイトを解凍し、 その結果をアプリケーションソフトへと渡す。

ソフトウェアによる圧縮システムの長所は、それがソフトウェアの中に組み込まれているということにある。利用者はそのプログラムを買うだけで、ほかには何も配慮しなくても、記憶に必要な容量を2倍以上にして使うことができる。しかし、このようにソフトウェアによる圧縮には、同時に処理速度が低下するという弊害も伴う。ソフトウェアで圧縮すると、マイクロプロセッサがデータの変換を行なわなければならないため、ディスクのレスポンス速度を低下させてしまうのである。また、ソフトウェアドライバとして働くシステムは、DOSの規格に正確に合致していないハードディスクで使用すると、問題が発生することもある。さらに、このソフトウェアドライバは DOS 以外では働かない可能性もあるのだ。

自立型のソフトウェア圧縮プログラムでも、ファイルを圧縮して、転送時間を節約したりディスクの容量を節約したりすることができる。このようなプログラムは、通常のディスク操作の中に隠れて、リアルタイムの処理を行う必要がないため、ファイルを広範囲にわたってチェックして最適な圧縮方法を選び出すことができる。さらに、ファ

イルの様々な部分に異なった圧縮方法を使用したり、いくつかの圧縮方法を重ねて使用することもできる(このようなプログラムでは、時間がかかることは問題とならないため、より複雑な圧縮方法を使用することができ、一度圧縮したファイルはさらに圧縮できないという従来のルールが当てはまらない)。

このような圧縮プログラムでは、いくつもあるファイルを1つのファイルにまとめる機能が組み込まれているのが一般的である。これらの圧縮プログラムが特に BBS (電子掲示板) のユーザーに馴染み深いものになっているのは、ファイルを小さくすることで高い電話代を節約することができるためである。最も良く知られた市販のプログラムでは、System Enhancement Associates の「ARC」や、PKware の「PKzip」がある。

マイクロプロセッサの代わりに圧縮用コプロセッサボードを搭載して使うこともできる。圧縮用コプロセッサは、マイクロプロセッサによる圧縮操作を代わりに請け負い、ソフトウェアによる圧縮の不利な点を取り除くことができる。ただし、圧縮用コプロセッサはディスク(またはテープ)の読み書き操作へ割って入るドライバを必要とし、このため、DOS以外のオペレーティングシステムとは互換性がない可能性がある。

現在では、多くのハードディスクが装置レベルの圧縮システムを組み込んでいる。これは、圧縮用コプロセッサを拡張ボードからハードディスク内へと移動させたもので、このようなハードディスクでは、本来の容量よりも多くの情報を記憶することが可能である。圧縮回路はドライブ自身の一部となっており、自動的にデータストリームの間に入っているため、ソフトウェアドライバがこの役割を負う必要はない。また、装置レベルの圧縮システムでは、コプロセッサチップを使用しているため、性能が落ちるという欠点もない。

注意しなければならないのは、ソフトウェア、コプロセッサ、装置レベルの圧縮では、同じ圧縮方法が用いられているのが一般的であるため、これらを複数同時に使用すると、逆効果になることである。いったん圧縮されたものをさらに圧縮することはできない。また、ARC や PKzip のような

圧縮ユーティリティで圧縮されたファイルは、も う一度別のユーティリティで圧縮できるというこ とはない。1つの圧縮システムを用いるだけで、最適な速度や記憶装置の有効利用が可能なのである。

19.4 シーケンシャルアクセスとランダムアクセス

最初の大容量電子記憶装置は磁気テープで、これは薄い紙の上に精製した酸化鉄を薄く塗り付けたものであった。後にこの紙はプラスチックに代わり、酸化鉄のコーティングは、鉄や二酸化クロムや同種の化合物を使った様々な混合物を原料とした改良型の磁気粒子となっている。

テープ記録

このようなテープに記録を行った装置が、ドイツの Telefunken 社によって作られた最初のテープレコーダ「Magnetophone」である。第二次世界大戦の時代に作られた古めかしいこの装置は、アナログ音声しか記録できなかったが、その後テープ記録は徐々に発達し、ビデオやデジタルデータまで記録できる性能も持つようになった。今日のデータカセットやストリーマテープシステムは、どちらもこの最初のテープレコーダの流れを汲むものである。

このようなテープメディアはとても単純な設計になっている。静止した読み書きヘッドを正しく通過するように、テープは単純に左から右へと走行する。そして、ヘッド内の電磁コイル上に電流が通ると、テープヘデータを書き込むのに必要な磁界が作られる。

テープがこのヘッドの前を通ると、テープ上の 磁気粒子によって生成された動く磁界がヘッドに きわめて小さい電流を誘導する。この電流は増幅 され、デジタルデータへと変換される。書き込み 用の電流は、最初にテープに存在するどのような 磁界よりも強く、データの消去も、新たに情報を 書き込むために新しい磁界の向きを形成すること もできる。

シーケンシャルメディア

テープ記録装置の第一の特徴は、情報がテープの先頭から末尾まで一方向に格納されることにある。紙の上に文字を書くように、データビットが次々と連続的に記録されていくことから、このような情報の格納形態をシーケンシャル(順次)方式という。デジタルシステムでは、ビットはテープの端から端へ向かって次々と記録される。多重トラック方式や、ビデオシステムに使用されるへリカル記録方式ではテープの横幅も使用されることがあるが、その場合でも、基本的には、格納される情報の流れは単一方向である。

ニュートンの法則が支配する世界では、2点間の最短距離は常に直線を意味する。ところが、磁気テープシステムでは、テープ上の2つのデータビットを結ぶ最短距離が長い時間を意味することがある。大きく隔てられた2つのビットを読み取る場合は、その間のテープを読み飛ばさなければなければならない。その過程では、通過する部分の不要なビットも読み取っていかざるを得ない。データが読み取りたい順に並んでいない場合には、検索するためにテープの巻き取りや巻き戻しを何度も繰り返すことになる。これは、時間の浪費以外の何物でもない。

理論上は、シーケンシャル記録方式にはさしたる欠点がないことになっている。使用するメディアによっては、きわめて高速な動作も可能である。たとえば、コンピュータの半導体メモリの一形態である"シフトレジスタ"は、機械部分がなく、完全に電子的に構成されているため、データをほぼ光速で連続的に移動することができる。

しかし残念ながら、現在のシーケンシャル方式 のコンピュータ用大容量記憶装置では、そこまでの 高速は実現できていない。テープシステムは機械 的なメカニズムに頼っているため、光よりも遥かに 劣る速度でしか動作できないのである。たとえば、 光が真空の宇宙空間を秒速 186,000 マイルもの速 度で移動するのに対して、カセットテープの速度 は秒速 1.875 インチに過ぎない。光は月まで往復 するのに数秒しか要しないが、カセットテープで は 100 億倍 (数千年) も多くの時間が必要である。

現実には月まで届く 238,000 マイルもの長さのテープなどあり得ないが、それにしても、シーケンシャル方式のデータアクセスはあまりにも低速である。高速に慣れた現代のパワーユーザーは瞬時の応答を期待するが、テープシステムではファイルの取り出しに 10 秒近くもかかることがある。プログラムとデータをすべてテープシステムから転送する羽目になった場合など、転送を待つ間の暇つぶしとして編み物の趣味でも始めるしかない。

ランダムアクセスメディア

フロッピーディスクや大部分のハードディスクでは、ディスク表面が2次元であることを生かして、テープシステムとは異なる形でデータが格納されている。データは、直線上ではなく、陸上競技場のトラックや水面に広がる波紋のような複数の同心円上に記録される。この記録方式は一部の光ドライブでも採用されている。ただし、光ドライブの多くは、この方式に変更を加えて、同心円の代わりに、ディスクの外周から内周へと続く間隔の狭い1本のらせんを使用している。らせん状のトラックでも、動作は同心円方式と変わらない。

トラック

データを 2 次元に配置しても仕組みはたいへん 単純である。ディスクは読み書きヘッドの下を決 まった方向に回転する。このときヘッドは、陸上 競技場のトラックのように同心円状に形成されて いるトラックを走査して、データの読み書きを行 うのである。ディスクシステムでは、通常、ヘッド も移動できるようになっている。これは、ヘッド を固定してしまうと、同じトラック上の特定の記 録データしか読み取れなくなり、ディスク表面の 有効な領域のほとんどを未使用のままで放置する ことになるからである。これでは、シーケンシャ ル方式の記憶システムと同じである。

今日のディスクシステムのほとんどでは、読み書きへッドは、ディスクの半径に相当する部分を、トラックを横切る形で移動する。こうすればヘッドはトラック間を高速に移動できる。2点間(2バイト間)の最短距離は直線であり、データを連続的に読み取る場合には、ヘッドはトラックを横切って近道をすることで高速な読み書きを可能にしているのである。この場合、該当するトラック上に到達したヘッドは、必要なビットがヘッドの下を通過するまで待機しなければならないが、ディスクは相対的に回転速度が高いため(フロッピーディスクでは一般的に毎分300回転であり、ハードディスクでは3,600回転のものが多い)、この待ち時間は数分の1秒に過ぎない。

このような2次元記録システムは、ビット間の 距離が大きな場合でも、ヘッドがトラックを横切っ て移動できるため、該当のトラックに達したヘッ ドが該当のビットの通過を待つ時間が必要だとい う欠点はあるが、データの読み取りや検索をどの ような順番にでも(つまり、ランダムに)行えるこ とになる。このようなディスク記憶装置は、一般 にランダムアクセス装置と呼ばれている。

磁気記憶システムは、このランダムアクセス能力によって、同じく大容量の記憶システムであるテープシステムを遥かに凌駕する高速動作を実現している。したがって、高速性と利便性においてディスクシステムよりも劣るテープシステムは、メインの記憶システムとして使用されることはない。テープシステムの一般的な役割は、補助記憶装置としてのバックアップシステムにある。一方、ディスクシステムは、短時間での転送が求められるプログラムやファイルの格納用として使用されている。

1本のらせん状のトラックを使用する光システムでも、長いらせんトラックに沿ってデータを読み書きする際には、ヘッドはトラックを横切って移動する必要がある。しかし、光システムのヘッドはトラックを横切るだけでなく、連続するトラックの中でもある部分から別の部分へジャンプすることができるため、高速なランダムアクセスが可能になっている。また、このようならせんトラッ

クシステムでは、ヘッドはトラックに沿って内周 へ進む際に、同心円のトラック間に存在する読み 取り不能領域を横断する必要がないため、大きな データブロックを高速でスムーズに読み取ること ができる。したがって、光システムでは優れたラ ンダムアクセス機能と連続データの高速な転送速 度の両方を実現することができるのである。

現代のハードディスクでは、トラックのディスク上の物理的な配置は意味をなさなくなっている。特殊な電子回路によってドライブの物理特性を隠して、別の物理配置に見せることができるようになったからである。このようなマスク処理を使用すると、本来は互換性のないドライブをパーソナルコンピュータで機能させることができる。たとえば、DOSや大部分のBIOSでは、ハードディスク上で1,024本を超える数のトラック(またはシリンダ)を使用することはできない。ところが、このマスク技術を使用すると、2,048本のトラックがあるドライブでも、パーソナルコンピュータに対しては、ディスクの論理形状がこの制限内に収まっているかのように見せることができるのである。

セクタ

通常、トラックはセクタという小さなセグメントに分割されている。トラックごとのセクタ数は様々で、一部のフロッピーディスクでは8個であるが、最近の大容量ドライブには51個を超えるものがある。デバイスレベルのインターフェイスを使用するディスクでは、セクタ数はすべてのトラックで同じである。内周に近づくほどトラックの半径が小さくなるため、それだけ高密度で情報を格納しなければならない。一般に、IBM方式の装置では512バイトのセクタサイズが採用されている

各セクタは、ディスクに付けた特殊な磁気マークで識別する。このセクタ識別子は、ディスクのフォーマットの一部になっている。一般的なセクタ識別子の内容を、図 19-1 に示す。

■ゾーンビット記録方式

最近は、ディスク円板の外縁に近づくほどセク

タ数を多くしたドライブが増加している。この場合、特殊な電子回路によって、このようなセクタの変則的な配置をコンピュータから隠し、全トラックが同じセクタ数になっているかのように見せている。

このようなセクタ配置は、複雑な技術が支えている。名目上、ハードディスクの回転速度は一定である。回転速度を可変にして、多くのデータを記録できるようにヘッドが外周にいくほど回転を高速にすると、アクセス時間が犠牲になってしまう。ヘッドの移動は短時間で行えても、読み書きに適した速度になるようにディスクが回転速度を調整する間、システムが待機を強いられるからである。

ゾーンビット記録方式という技術を使用すると、この問題は解消される。ゾーンビット式ドライブでは、ディスクの回転速度を変えるのではなく、ヘッドが位置する領域に応じて、回路の動作周波数を変更するのである。周波数が変化すると、データの記録密度も変化する。

周波数が固定された従来型のディスクでは、ディスク円板の外周側ほど記録密度が低くなる。一定時間にヘッドの下を通過するメディアの距離が長くなるからである。ゾーンビット記録方式では、ディスクのどの部分でも記録密度がほぼ一定になる。外周側ほど高い周波数を使用することによって、内周側よりもデータの密度を上げるのである。この結果、信頼性を犠牲にせずに、ディスク全体としての実質的な記憶容量を増やすことができる。

この種のドライブでは、パーソナルコンピュータに対して、標準的な構成 (たとえば、512 バイトのセクタがトラック当たり 17 個) であるかのように見せるために、実際の物理特性を隠す必要がある。ある瞬間のトラック当たりのセクタ数が 17 から 23 へ、23 から 31 へと磁気的に変化するようなディスクは、DOS では取り扱えないからである。このように実際のディスクの物理特性を隠すことによって、システムレベルのインターフェイスが容易になる。

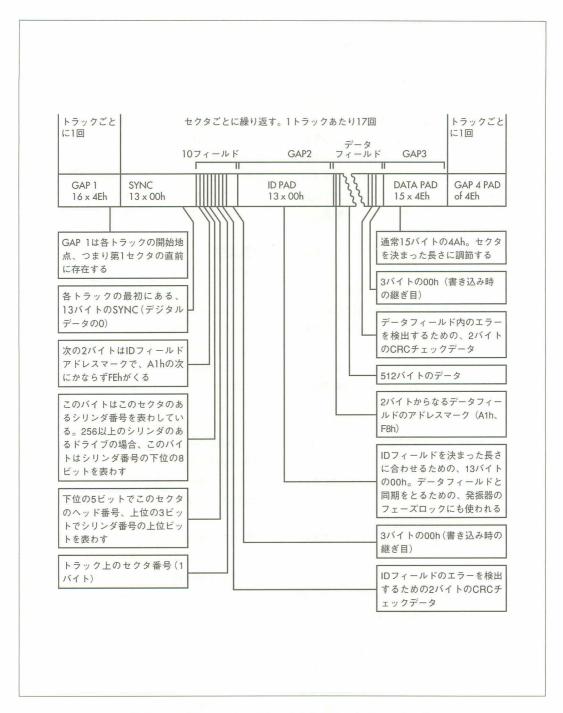


図 19-1 典型的なセクタ ID マーク (ST5061412 コントローラ)

■トランスレーションモード

パーソナルコンピュータの設定を行う場合、へッド数、トラック数、セクタ数は重要である。この値によって、指定されたデータを検索するためにドライブコントローラがドライブに送信する信号が決まるからである。通常この値は、パーソナルコンピュータのセットアップ処理を実行する際に設定する。トラックとセクタの実数を隠すために使用するマスク技術では、ユーザーは、ドライブの実際の物理構成ではなく、ドライブの電子回路が作成する論理的なトラックとセクタの配置に合わせてシステムを設定する。

最新鋭のドライブはさらに進化している。物理特性をマスクするだけではなく、パーソナルコンピュータが期待するパラメータ(ヘッド数、トラック数、セクタ数)を検知して、自動的にそのパラメータに合わせることができるのである。この機能をトランスレーションモードという。

トランスレーションモードをサポートしているドライブでは、ユーザーは、ドライブの実際の値よりも多くの容量を指定することはできないが、パーソナルコンピュータのセットアップでどのようなドライブパラメータを設定していようとも、それを受け付けることができる。たとえば、トランスレーションモードをサポートしている80Mバイトのドライブを購入したとすると、そのドライブは、自動的に自己調整して、セットアッププログラムに記述されているヘッド数やシリンダ数をエミュレートするのである。

ただし、このトランスレーションモードにも欠点がある。ドライブをトランスレーションモードでフォーマットし、論理構成が設定されてしまうと、再フォーマットしない限り、設定を変更することができないのである。これは、ドライブは自動的に自己調整を行えても、データにはそのような能力はないからである。

万一、パーソナルコンピュータの CMOS メモリの内容が壊れるようなことがあると、大変厄介なことになる。たとえば、バッテリを交換したために、システム設定をやり直す必要が生じた場合など、記録されていたデータを復元するためには、以前に設定していたドライブのパラメータを事前

にユーザーが覚えておかなければならない。また、 データが入ったドライブを別のシステムに移動す る場合は、必ず、以前のシステムと同じセットアッ プパラメータを使用する必要がある。

残念ながら、トランスレーションモードのドライブは、容量を通知する以外には、使用すべきパラメータに関してユーザーの助けになるような情報は何も提供してくれない。必要なときは後で参照できるように、フォーマット時に設定したパラメータ(つまりドライブのタイプ)は、ハードディスクにラベルとして貼っておく必要がある。

クラスタ

DOS ではトラックやセクタは取り扱わない。代わりに、ディスク記憶装置を、クラスタ(アロケーションユニットということもある)と呼ばれるセクタの小グループに配分する。クラスタは、ディスクのタイプ、フォーマット方式、DOS のバージョンに応じて、512 バイトから 8,096 バイトまでの様々な標準サイズを持った、選択可能な単位である。

ディスク上にファイルを格納する場合、DOSはそのファイルを一群のクラスタに分割する(数百クラスタ程度の場合が多い)。クラスタはディスク上の様々な場所から集められる。したがって、ファイル内では連続する部分であっても、ディスク上では物理的に隣接するクラスタに格納されるとは限らない。

現在では時代遅れになった DOS の初期バージョンは、ファイルごとにクラスタを割り当てるという単純な規則に従っていた。この規則の下では、たとえば新品のディスクであれば、ディスクの先頭に近いクラスタから順に使用され、1つのファイルに使用されたクラスタはすべて連続しているわけである。

ファイルを消去すると、使用されていたクラスタは解放されて、再使用できるようになる。次のファイルが書き込まれるときには、新たに解放されたクラスタが、ディスクの先頭に近いものから順に使用される。このように、DOSでは、まったく未使用のクラスタよりも先に、ファイルの消去によって空いたクラスタが使用される。そのため、ファイルが格納されたクラスタがディスク内の複

数の場所に散在する場合が出てくる。

DOSの初期バージョンがこのような奇妙な方針を採用していたのは、速度よりも容量の方が重要であった時代に作成されたためである。可能な限り多くのファイルをディスク上に押し込むことを目的としていたのである。

DOSもバージョン 3.0 以降になると、ディスクの先頭に近いクラスタから無条件に使用するということはなくなった。これらの DOS では、ファイルの消去によって生じたクラスタよりも、まったく未使用のクラスタを優先的に使用する。このテクニックによって、ファイルが格納されたクラスタ間の距離が近くなるため、結果的に、ファイルの読み取り速度が向上することになった。

ファイルアロケーションテーブル

各クラスタがどのファイルに所属するかを管理するために、DOSではファイルアロケーションテーブル (FAT) というものを使用している。FATは、基本的には、ディスク上のクラスタのマップである。ファイルの読み取りを行う場合、DOSは自動的に FAT を調べて、そのファイルに属する全クラスタを特定する。ディスクへの書き込みを行う場合は、FAT を調べて、利用可能なクラスタを判別する。個々のクラスタがディスク上にどのように散在していようとも、ユーザーやソフトウェアには1つのファイルにしか見えない。

クラスタはディスクにおける最小の記憶単位であるため、クラスタのサイズを小さくすることは重要である。作成したバッチファイルがどんなに小さくても、クラスタを少なくとも1つは占有す

るからである。可能性としては、10バイトしかな いバッチファイルも8.192 バイトのクラスタを占 有することもあり得る。平均すると、複数のクラ スタを占有するファイルによって、ディスク空間 のクラスタ領域の半分は無駄になっている。その 上、ファイルが入っていないディレクトリも含め て、全ディレクトリが最低1つのクラスタを使用 するのである。したがって、クラスタのサイズが小 さいほど、未使用のままで無駄になるディスク空 間が減少するわけだ。バージョン 3.3 までの DOS では、FAT に 12 ビットのクラスタ番号を使用し ていた。この場合、合計4.096個のクラスタに個々 の名前を割り当てることができる。サイズが8.192 バイトのクラスタの場合、ディスク(またはパー ティション)の最大可能サイズは33,554,432バイ トとなるが、これが旧 DOS の悪評高い 32M バイ ト制限である。バージョン 4.0 以降の DOS になる と、FAT は16ビットになった。この場合は、合 計 65,536 のクラスタに個々の名前を割り当てるこ とができる。ディスク空間を節約するためにクラ スタのサイズを2,048バイトに抑えると、ディス クの最大サイズは 134.217.728 バイト (128M バイ ト)になる。クラスタのサイズを 4,096~8,192 バイ トにすると、最大 512M バイトのディスクやパー ティションを確保することができる。DOS 5.0 で は、ディスクを複数のパーティション (クラスタサ イズと FAT のエントリサイズの両者に起因する 制限の範囲内に収まるようにする) に分割するこ とによって、さらに大きなディスク空間を扱うこ とができる。

19.5 制御回路

大容量記憶システムは、通常、3つの部分(一体化されている場合もある)で構成されている。実際のドライブ(つまり、内部回路も含む駆動機構)は、テープの巻き取りやディスクの回転など、記憶媒体自体の運用を担当する。制御回路は、ホス

トコンピュータシステムが発行したコマンドに応じて、駆動機構を制御する信号を生成する。そして、ホストアダプタは、ホストコンピュータが特定の目的のために生成した信号 (ISA バス、EISA バス、マイクロチャネル、ローカルバス内を通る

信号) を、コントローラと互換性のある信号に変換する。

初期のコントローラ

IBM XT が登場するまでは、大容量記憶装置の大部分のコントローラは、ハードディスクドライブの筐体内に装着された単独のボード上に形成されていた。ホストコンピュータの信号は、独立したホストアダプタカードによって、コントローラに合う規格の信号に変換されていた。ホストアダプタとコントローラは、一種の拡張パラレルポートによって接続されていた。また、制御機能は3つの場所に分散されていた。コンピュータ内部のホストアダプタ上と、コントローラ自体の内部(コントローラは大容量記憶装置の筐体内に併置されているのが一般的であった)、そして、大容量記憶装置の一部であるデータ転送回路内である。

ハードディスクシステムやテープバックアップ システムなどの初期のパーソナルコンピュータ用 の増設機器の多くは、このようにコントローラ、ア ダプタ、ディスクが分離されたシステムを採用して いた。製造メーカーにとって、これには正当な理 由があった。この設計では、ホストアダプタを交 換するだけで、同一の大容量記憶装置を事実上ど のようなコンピュータシステムにでも組み込むこ とができる。コントローラをあらゆるコンピュー タシステムに適合するように設計することで、す ぐ入手できるようにし、潜在的な市場を広げたの である。結局、IBM PC が登場するまでは、真の 意味での汎用バスの標準規格は存在しなかった。 (数百万台の IBM 互換機が販売されている今日の 状況とは異なり) 設計が異なる多種多様な非互換コ ンピュータが大量に販売されたこの時代には、こ のようなテクニックによって、大容量記憶装置の 製造メーカーが経済的に存立可能なほど大きな市 場が成立していたのである。

また、ホストアダプタとコントローラを分離することについても、合理的な理由があった。この両者を一体化すると、従来型のスロットに差し込めるような大きさの拡張ボードではスペースが足りそうにないと思われたのである。

ホストアダプタとコントローラの結合

PCバスもマイクロチャネルも業界の共通規格としての資質は備えていないが、広範なユーザーの存在が、この両者専用に製品を設計するメーカーに正当性を与えている。IBM PC という最初のIBMパーソナルコンピュータの成功によってこの方針の正しさが明らかになってくると、ホストアダプタと記憶システムの制御回路を I 枚の拡張ボードで統合するメーカーが現れ始めた。現在では、大容量記憶システムの大部分が、記憶装置とパーソナルコンピュータの拡張バス(準拠している規格が何であれ)をこの方法で接続している。ホストアダプタとコントローラが一体化されたこのようなボードも、その基本機能からコントローラと呼ばれている。

IBM XT のハードディスクサブシステムは、ホ ストアダプタとコントローラの関係が変化する 先触れとなった。XT のコントローラは、ホスト アダプタとコントローラの機能を1枚の高密度な 回路ボードで一体化したものだったのである。こ の先駆的なコントローラは、もともとは Xebec Corporation が IBM のために製造したものであ り、次世代の装置の雛形となった。実際、その後の ハードディスクコントローラの大部分がこの一体 化方式を採用している。AT もこの方式を採用し、 Western Degital Corporation が開発したコント ローラ (特に「WD1002」というモデルのもの)を使 用していた。ソフトウェアがこの特定のコントロー ラの機能を前提として設計されていたため、この コントローラはその後の設計の流れを決定づける ことになった。現在では、パーソナルコンピュー 夕用のほぼすべてのハードディスクコントローラ が、WD1002の機能をエミュレートしている。

組み込み型コントローラ

コントローラの設計における次の必然的なステップとしては、この回路を拡張スロットの外に出して、ドライブに内蔵することが考えられる。この移行を、記憶装置へのコントローラの統合もしくは組み込みという。これを技術的にいうと、統合化ドライブ回路 (Integrated Drive Electronics)ということになる。ただし、IDEという略称の方

は、もっぱら AT 拡張バスを使用して接続する特定のディスクインターフェイスの呼称として使用されている。実際には、IDE インターフェイスというのは通称であり、このインターフェイスの正式名称は「AT アタッチメントインターフェイス」である(ATA インターフェイスまたは単に AT インターフェイスと呼ぶ場合もある)。

SCSIと略記される小型コンピュータシステムインターフェイス (Small Computer System In terface) は、内蔵ディスクコントローラの決定版である。詳細については本章で後述するが、完全な調停機能を持った拡張バスとして機能し、装置に依存せずに高速でのデータ交換が可能になっている。

統合ハードディスクカード

拡張ボード上の回路をハードディスクに組み込

むという考え方を応用すると、ハードディスクの 方を拡張ボードに組み込むというアイデアが生ま れる。この方法でもドライブ回路の統合化は可能 であり、実際に真の意味で内蔵といえるインター フェイスが使用されたのは、ハードディスクカー ドが最初であった。ハードディスクカードでは、こ れまで述べた3つの基本部分(ホストアダプタ、コ ントローラ、記憶装置)が、合体して1枚のボード のような部品になっており、そのまま標準の拡張 スロットに装着することができる。もちろん、こ の方法が有効なのは、ハードディスクのようなメ ディアを取り替える必要のない大容量記憶装置だ けである。小型化と標準化の技術のおかげで、制 御回路を組み込んだドライブに、ユーザーの好み に応じて、インターフェイスを選択する余地がで きた。

19.6 デバイスレベルのインターフェイス

コントローラの役目は、ディスクドライブやテープドライブをホストコンピュータとリンクすることがすべてである。コントローラに広範な種類の装置を接続できるように、インターフェイス信号は標準化されている。

インターフェイスには2種類のレベルが存在する。1つはデバイスレベルのインターフェイスで、このインターフェイスは特定の種類の装置をホストコンピュータにリンクするように設計されている。設計上、その特定の種類の装置が生成する信号に特化されているため、他機種で使用することはできない。一方、システムレベルのインターフェイスの方は、それよりも高次元の接続を行う。装置が生成した信号は、最終的に、ホストコンピュータシステムが使用する信号に変換される。システムレベルのインターフェイスが使用する信号は、特定の種類の装置に特化されてはいない。そのため、テープドライブ、ハードディスク、フロッピーディスクはもちろんのこと、スキャナーやプリン

タでさえ、同一のシステムレベルのインターフェイスを使用することができる。本来なら、各装置に専用のデバイスレベルのインターフェイスが必要になるところである。パーソナルコンピュータ用の大容量記憶システムでは、通常、デバイスレベルのインターフェイスが3種類使用されている。1つはフロッピーディスクインターフェイスであり、残りの2つは、「ST506」と「ESDI (Enhanced Small Device Interface)」というハードディスクインターフェイスである。

フロッピーディスクインターフェイス

フロッピーディスクが準拠している標準規格は、 フロッピーディスクインターフェイスという単純 な名前で呼ばれており、低価格のテープバックアッ プシステムでも広く採用されている。動作上は、 このインターフェイスは、コマンド行をいくつか 追加して、フロッピーディスクドライブ固有の特 殊な機能を処理できるようにしたシリアルポート のようなものである。2台のフロッピーディスク ドライブの制御に必要な信号はわずかであり、通 常、コントローラとは1本のケーブルで接続する。 2台のドライブ (A と B) の区別は、2つのドラ イブ選択信号を使用して行う(4ドライブのシステ ムでは、2本目のケーブルの A ドライブ制御信号 でCドライブを、Bドライブ制御信号でDドライ ブを制御する)。割り当てられた選択信号が送信 されてこない場合、そのドライブでは、ドライブ モーターの制御回路を除いて、ほかの入出力回路 はすべて停止される。この方法では、2台のドラ イブがコントローラケーブル内の多数の信号線を、 干渉することなく共用することができる。ただし、 この制御方式では、ある時点でアクティブになっ ているのは2台のドライブのいずれか一方だけで ある。1台からの読み取り中にもう1台への書き 込みを行うことは不可能である。このため、片方 のディスク(ファイル)に保持されているデータを もう一方のドライブへコピーする場合は、一度、 データをメモリに転送しなければならない。

スピンドルモーターのオン/オフ切り換えは、 ドライブごとに信号線を1本使用して行う。この 信号をドライブ A 選択信号とドライブ B 選択信号 という。AとBの両方のドライブのモーターを同 時に回転させることは可能だが、IBM では規則を 定めて、この2本の信号を同時にアクティブにす ること(つまり、両ドライブのモーターを同時に回 転させること) は禁止している(これは、電力量の 限られたシステムでは電力節約となって有効であ るが、ドライブが1台しかない XT システムでは 無意味である)。なお、パーソナルコンピュータの ドライブでは、通常、モーター使用可能信号が停 止された後も数秒間はモーターの回転が継続する ように遅延回路が組み込まれているため、2台の ドライブモーターが両方とも回転している状態が あり得る。

フロッピーディスクインターフェイスでは、2本の信号によって、各ドライブのヘッドの位置を制御している。1本はステップパルス信号といい、ドライブ選択信号をアクティブにした上で、この信号によってステッパモーターに指示を出すことによって、ディスクの中央を基準として1ステップ

ずつ(つまり、正確に1トラック分ずつ)、内周も しくは外周方向へへッドを移動させる。移動方向 は、もう1本の信号である方向信号で制御する。 方向信号がアクティブであれば、ヘッドはディス クの中心に向かって移動する。

フロッピーが両面タイプのディスクである場合に、どちらの面を読み取るかを決定する信号をサイドセレクト信号という。この信号がアクティブであれば、ディスクドライブの上側のヘッドが使用される。信号が送信されてこなかった場合は、自動的にデフォルトのヘッド(下部ヘッド)が使用される。

ディスクへの書き込みは、インターフェイス上の2本の信号を使用して行う。1本は書き込みデータ信号であり、この信号は実際にディスク上に磁気的に書き込まれるデータである。この信号は、ディスク上に形成される磁束遷移に対応した一連のパルスだけで構成されている。読み書きへッドは、この信号を単に磁気的に再現しているだけである。書き込み許可信号と呼ぶもう1本の信号は、ディスク上の既存のデータが誤って上書きされるのを防ぐために使用する。この信号がアクティブになっていない場合、書き込み電流は読み書きへッドには流されない。

フロッピーディスクドライブからは、インターフェイスを通じて4本の信号がコントローラに戻される。このうちの2本は、コントローラがヘッドの現在位置を把握するための信号である。トラック0信号は、ヘッドが一番外側のトラック上に位置していることを示す。コントローラは、この信号によって、ヘッドの移動ステップ数のカウントを開始する基準位置を把握することができる。インデックス信号は、トラック上の各ビットの位置を判断するための信号である。ディスクが1回転するたびに、インデックスラインにパルスが生成される。コントローラは、このインデックス信号を基準として、着信するデータパルス間の距離を計測する。

残りの2本の信号のうち、書き込み禁止信号は、 ディスクの書き込み禁止タブの有無を検出するセンサーによって生成される。タブが存在する場合、 この信号はアクティブになる。残りの1本の読み 取りデータ信号は、フロッピーディスク上の磁束 遷移と正確に一致する連続した信号である。

■コントローラ

フロッピーディスクコントローラの基本的な目的は、BIOSからの要求を変換すること(つまり、トラック数やセクタ数の形で受け取ったハードウェアコマンドを、ディスク上の該当位置にヘッドを移動させるためのパルスに変換すること)にある。効率的な操作を行うためには、コントローラは、ヘッドの現在位置を把握し、必要に応じてヘッドに指示し、エラーの発生時にはそれを報告しなければならない。

フロッピーディスクコントローラは、この変換機能によって、ドライブから届いた未フォーマット状態のパルス信号を理解しなければならない。そのために、まず、インデックスパルスによって各トラックの開始位置を把握する。次に、データストリームに埋め込まれている情報から、各セクタを割り出す。必要なセクタを特定したら、セクタ内の情報を読み取って、シリアル形式からパラレル形式に変換する。これで、PCバスでの送信が可能になる。書き込みを行う場合は、コントローラはまず、書き込みの対象となるセクタを特定する必要がある(これは読み取り操作である)。次に、書き込み電流をオンにして、次のセクタが始まるまでに、そのセクタにデータを記録する。

このようなコントローラの機能は、大部分が、「765 コントローラチップ」というたった1個の集積回路によって制御されている。765 チップはマイクロプロセッサのような役割を果たすチップであり、パーソナルコンピュータの I/O ポートにつながったレジスタを通じて受け取ったコマンドに応じて、一定の操作を実行する。プログラミングが可能であることから、765 チップを使用するフロッピーディスクコントローラはきわめて柔軟性が高く、パーソナルコンピュータ業界の進化に伴うメディアや記憶フォーマットの変更にも、容易に対応することができる。フロッピーディスクドライブに関する基本的なパラメータは、コントローラ上のシリコンチップには一切記録されていない。ヘッド数、トラック数、セクタ数はすべて、

765 チップ上のレジスタにロードすることによって設定される。

コントローラが使用するこれらの値は、通常、コンピュータの起動時にコントローラ内にロードされる。その後は、ユーザーが意識する必要はなくなる。適切な回路と BIOS コードを備えていれば、1台のコントローラで、旧式の大きな8インチフロッピーから最新型の3.5インチ超高密度フロッピー(2.88MB)まで、すべてを制御することができる。ただし、フロッピーディスクのフォーマットの変化を予測できなかった一部の旧式コントローラについては、あらゆるフォーマットと互換性があるとは限らない。また、最近の構成のフロッピーを活用するためには、それを前提にして設計されたバージョンのDOS(または、ほかのオペレーティングシステム)が必要になる(第20章を参照のこと)。

特殊なソフトウェアを利用すると、IBM の標準 規格に従っていないフロッピーディスクでも読み 取り、書き込み、初期化を行うことができるよう に、コントローラの設定を変更することができる。 現在、このようなソフトウェアには2種類ある。 1つはコピー防止機構であり、順不同にセクタ番 号を付けたり余分なセクタを追加するなど、通常 の IBM パラメータを使用したのでは実行できな い操作を行うことによって、必要なドライブパラ メータを変更するものである。もう1つはディス ク互換用ソフトウェアで、これは、コントローラ のプログラミングを変更して、フロッピーディス クドライブをほかのコンピュータ用のドライブ(た とえば、CP/M オペレーティングシステムを使 用するものなど)のように動作させるものである。 ただし、IBMのシステムは柔軟ではあるが、取 り扱えないものもある。たとえば、Commodore や Apple のディスクとは互換性がない。これらの メーカーのコンピュータはまったく異なるドライ ブ制御ハードウェアを使用しているため、765チッ プでは対応不可能なのである。

過去 10 年間にわたる開発努力の結果、専用ボードが必要だったフロッピーディスクコントローラは、システムボード上のわずかな回路を占めるだけになった。IBM が初代の PC 用に設計したコント

ローラは、XTや Portable PC にも採用された。 AT では、フロッピーディスク関連の回路は、システムのハードディスクコントローラ上にハードディスク制御回路と並べて収められたため、拡張スロットが1つ空くことになった。PS/2シリーズの時代になると、フロッピーディスクコントローラは、システムボード上に搭載されるようになった。

現代のPC互換機では、上記の3種類の設計の いずれを使用しても正常に機能する。したがって、 選択のポイントは、拡張スロットの使用の有無と コストに絞られてくる。互換機メーカーの中には、 コントローラをシステムボード上に組み込むので はなく、拡張スロットに挿入する方式を選択する ことによって、価格を抑えるところもある。この 方法は拡張スロットの無駄遣いともいえるが、低 価格を追求するメーカーにとって、その程度のこ とは考慮に値しないようである。パーソナルコン ピュータユーザーにとって、フロッピーディスク コントローラの最大の問題はアップグレードにあ る。フロッピーディスクコントローラが組み込ま れたハードディスクコントローラを取り外して、 新しいハードディスクコントローラを装着した場 合、それまで使用していたフロッピーディスクコ ントローラに相当する機能を、何らかの手段で調 達しなければならない。

■コネクタ

フロッピーディスクインターフェイスは、年月の経過とともに微妙に変化してきた。最初の PC や XT のフロッピーディスクコントローラでは、フロッピーディスクケーブルの接続にエッジコネクタを採用していた。これに対して、AT 以降のコントローラではピンコネクタを使用するのが一般的である。いずれの場合も、各ピンに割り当てられた信号はまったく同一である。フロッピーディスク側のコネクタも変化した。5.25 インチのドライブではほぼすべての製品がエッジコネクタを使用しているのに対して、3.5 インチドライブでは通常はピンコネクタが使用されている。

PC や AT のコントローラでは、カード上に装備されたエッジコネクタとは別に、カードオプションの装着ブラケット上に 37 ピンのコネクタが用意

されている。3 台目、4 台目のフロッピーディスクを駆動するのに必要な信号はすべてこのコネクタで送受信される。最近のフロッピーディスクコントローラには2 台のドライブしか制御できないものが多いが、わずかながら4 台の制御が可能なコントローラもサードパーティから販売されている。

ST506/412

IBMのXTやATに加えて、PS/2シリーズの一部の機種で使用されていた初期のハードディスクコントローラは、ST506/412という業界標準のデバイスレベルインターフェイスに準拠していた。頭文字を使って略語にしているほかのインターフェイス名とは異なり、ST506という名称にはほとんど意味がない。"ST"はこのインターフェイスを開発した Shugart Technology という会社の社名の略であり、数字はほかとの区別のために付けた番号に過ぎない。要するに、車やカメラの型番と同じようなものである。

ST506では、ディスクドライブとの間のデータのやり取りを、フロッピーディスクインターフェイスと同様にシリアル形式で行う。ディスクから磁束遷移として読み取られたデータは、1本のデータラインを通じて、そのままの形でコントローラまで運ばれる。コントローラに到着したデータは、データセパレータによって、実際のデータ部分と、フォーマット情報(つまりセクタ識別情報)の部分とが分離される。

その後、実際のデータ部分のビットストリーム はシリアルーパラレル変換回路に入り、シリアル 形式からホストコンピュータのバスと互換性があ るパラレル形式のデータに変換される。なお、変 換時にはエラーチェックも行われ、大部分のエラー はこの時点で訂正される。

ST506 規格では、ディスク上に記録された信号やインターフェイスを通過する信号のデータコーディング方式が規定されていない。定められているのは、ドライブとコントローラ間のシリアルチャネルだけである。したがって、ST506 には、MFM、RLL、アドバンスド RLL といったコーディング方式を組み込むことができる。ただしその場合は、ドライブに、先進的な変調方式の高周波数を処理

できる機能がなければならない。変調方式やデータコーディング方式はディスクコントローラに応じて決まっているため、コントローラを選択すれば、ディスクへの記録形式も決まることになる。フロッピーディスクインターフェイスとは異なり、

ST506 インターフェイスでは 2 組みのケーブルを 使用する。34 ピンの太い制御ケーブルと、20 ピン の細いデータケーブルである。これらのケーブル の各ピンに割り当てられた機能を表 19-1 に示す。

表 19-1 ST506/412 ケーブルのピン配列

ピン	機能	ピン	機能
制御ケーブノ	V The state of the		
1	ヘッド選択8	2	Ground
3	ヘッド選択 4	4	Ground
5	ゲート書き込み	6	Ground
7	シーク完了	8	Ground
9	トラック 0	10	Ground
11	書き込み失敗	12	Ground
13	ヘッド選択1	14	Ground
15	予約	16	Ground
17	ヘッド選択 2	18	Ground
19	インデックス	20	Ground
21	レディ	22	Ground
23	ステップ	24	Ground
25	ドライブ選択1	26	Ground
27	ドライブ選択2	28	Ground
29	ドライブ選択3	30	Ground
31	ドライブ選択 4	32	Ground
33	ディレクション	34	Ground
データケーフ	ブル		
1	ドライブ選択	2	Ground
3	予約	4	Ground
5	予約	6	Ground
7	予約	8	Ground
9	予約	10	予約
11	Ground	12	Ground
13	書き込み MFM データ+	14	書き込み MFM データー
15	Ground	16	Ground
17	読み取り MFM データ+	18	読み取り MFM データー
19	Ground	20	Ground

最近のパーソナルコンピュータでは、ST506インターフェイスは基本的に時代遅れになっている。ハードディスクメーカーはST506インターフェイスを使用する新型ドライブの設計をかなり前に止めており、ST506インターフェイスを採用したドライブ製品は現在では市場で目にすることはない。このインターフェイスの最大の欠点は速度にある。ST506が設計された当時、パーソナルコンピュータの処理速度は現在の50分の1以下であった。その頃にはいかなるパーソナルコンピュータでも追いつけなかったST506インターフェイスの速度も、現在では、パーソナルコンピュータの速度に遠く及ばなくなってしまった。

また、ST506 インターフェイスは、アップグレードには適さない。デバイスレベルのインターフェイスであるため、信号のタイミングをドライブの物理特性に直接合わせているためである。つまり、ディスクの回転によって決まる転送速度と、インターフェイスの動作周波数とが、常に連動しているのである。当然、一方の値だけを変更することはできない。高速なドライブを開発するためには、このインターフェイスを捨てて、速度の速い別のインターフェイスを新規に開発せざるを得なかったのである。

ESDI

ST506 インターフェイスの高速版が開発されていれば、ESDI と同様の設計になっていたと思われる。ESDI の方が高速である点を除けば、制御信号もデータ信号も ST506 と同一なのである。事実、初期の ESDI 製品の多くは、トランスポートとコントローラ間のデータ転送速度を ST506 の5MHz から 10MHz に上げたものに過ぎなかった。

ESDIとST506は同じ2組みのケーブルを使用しており、ピン配列も同一である。ただし、両者に互換性はない。ESDIドライブをST506インターフェイスに接続することはできないし、接続しても正常に動作しないはずである。逆に、ST506ドライブをESDIインターフェイスで動作させることもできない。表19-2はESDIインターフェイスのピン配列である。

しかし、ESDI はそれほど単純なインターフェイスではない。このインターフェイス仕様では、ドライブやシステムの設計上のニーズに合わせて、低速から高速まで様々な速度でデータを転送できる(最近の高速ドライブには、25 MHz で信号を送信するものがある)。また、ピンの数や配置に関する許容度も大きい。なお、ESDI は、設計上、テープシステム用のインターフェイスとしても使用できるようになっていたが、この用途では普及しなかった。

ESDIによってなされた改良の中でも、高速化の実現が最も重要な意味を持っている。ST506ドライブと同じ回転速度 (毎分 3,600 回転)のままでデータを高速転送するために、通常の ESDI ハードディスクでは、1 回転の間に読み取る各トラックのデータ量を 2 倍にする必要がある。そのため、大部分の ESDI ドライブでは、1トラックを 34 以上のセクタに区切って、転送速度だけでなく、データ密度も 2 倍にしている。

ST506 規格と同様に、ESDI もデバイスレベル のインターフェイスである。接続は、基本的に、 システムに接続された装置との間で直接確立され る。ハードディスクの場合でいえば、構成や不良 トラックに関する情報をドライブ自身に保存して おける点で、ST506よりも優れている。このため、 インターフェイスを通じて接続されているディス クドライブの種類を、XT 方式の BIOS 拡張メモ リや CMOS 設定メモリのいずれかによってホス トコンピュータが認識する必要がなく、トラック 数、シリンダ数などは、ESDIドライブからコント ローラに通知される。また、ドライブ上の不良ト ラックの検査や入力をユーザーが行う必要もない。 ESDI では、メーカーが出荷前に検査を行い、不良 トラックにフラグを立てて、その情報を、コント ローラが直接利用できる標準化された形式でディ スクに記録してあるからである。ただし、現時点 では、この情報を利用するパーソナルコンピュー タはほとんどない。ST506 ドライブを使用するに あたっては、ユーザーが自らの手で、必要なドラ イブパラメータを CMOS メモリ内に設定しなけ ればならない。

表 19-2 ESDI ケーブルのピン配列

ピン	機能	ピン	機能
制御ケーブル	V		
1	ヘッド選択3	2	Ground
3	ヘッド選択 2	4	Ground
5	書き込みゲート	6	Ground
7	設定/ステータスデータ	8	Ground
9	転送アクノリッジ	10	Ground
11	アテンション	12	Ground
13	ヘッド選択 0	14	Ground
15	セクタ/アドレスマーク検出	16	Ground
17	ヘッド選択 1	18	Ground
19	インデックス	20	Ground
21	レディ	22	Ground
23	転送リクエスト	24	Ground
25	ドライブ選択 1	26	Ground
27	ドライブ選択 2	28	Ground
29	ドライブ選択3	30	Ground
31	読み出しゲート	32	Ground
33	コマンドデータ	34	Ground
データケーフ	en e		
1	ドライブ選択	2	セクタ/アドレスマーク検出
3	シーク完了	4	アドレスマーク許可
5	ステップモード用に予約	6	Ground
7	書き込みクロック+	8	書き込みクロックー
9	カートリッジ変更	10	読み出しリファレンスクロック+
11	読み出しリファレンスクロックー	12	Ground
13	書き込み NRZ データ+	14	書き込み NRZ データー
15	Grouund	16	Ground
17	読み出し NRZ データ+	18	読み出し NRZ データー
19	Ground	20	インデックス

ESDIの最大の利点は、ST506との類似点を多く残したままで高速化されていることにある。 ESDIドライブをST506ドライブとほとんど同様の方法で装着すれば、高速システムが手に入るのである。しかし、喜びは長くは続かない。ESDIのようなドライブとコントローラを分離した設計は、高速化の点で行き詰まりにきており、現代のパーソナルコンピュータやディスクドライブには とても使用できない。シリアルデータチャネルが 速度向上の限界に達しているのである。そのため、 ディスクインターフェイスの主役の座はパラレル インターフェイスに移りつつある。1991年末まで には、ハードディスクメーカーの大部分は、ESDI を使用する新型ドライブの開発をあきらめ、シス テムレベルのインターフェイスに開発の的を絞る こととなった。

19.7 システムレベルのインターフェイス

デバイスレベルのインターフェイスとは対照的 に、システムレベルのインターフェイスでは、大 容量記憶装置の開発に設計者の工夫を生かせる余 地が大きい。記憶装置の内部動作をインターフェ イスとは切り離して、装置内部からの出力を、ホ ストコンピュータと互換性があるフォーマット済 みデータだけに限定することができる。デバイス レベルの従来の設計では、ディスクなどの装置か ら取り出したデータストリームを、そのままの形 でインターフェイスに送り込んでいた。そのため、 セクタ識別情報などのフォーマット情報がデータ の中に混在していた。これに対して、システムレベ ルのインターフェイスでは有効なデータしか転送 されない。装置に関する情報は、必須データだけに まとめてから送信される。デバイスレベルのイン ターフェイスでは、脚注やページ番号などの無関 係な情報も送信せざるを得ないが、システムレベ ルのインターフェイスではそのような不要データ が取り除かれるため、デバイスレベルのインター フェイスと同じクロック速度でも、大量のデータ を転送することができる。

さらに、最近のシステムレベルのインターフェイスには、一般的なデバイスレベルのインターフェイスにつきもののシリアルチャネルの制限がない。たとえば、ATAインターフェイスでは、8 ビットまたは16 ビットのデータを一度に転送できる。最新の SCSI 接続では32 ビット単位での転送も可能である。システムレベルのインターフェイスは、クロック速度ではデバイスレベルでの最速のインターフェイスに劣るが、スループットでは優っている。また、システムレベルのインターフェイスは、その低速なクロック速度ゆえに、放熱などの設計上の問題点が少なくてすむ。

システムレベルの設計では、インターフェイス 信号と実際の装置が切り離されているため、互換 性を犠牲にせずに新技術を導入できるという利点 もある。従来を上回る大容量や優れたセキュリティ 機能、現在以上の高速スループットを実現するため の新技術を、標準規格に沿った形で搭載することができる。どのようなシステムレベルのインターフェイスにも、各装置用のコントローラの基本回路は必ず組み込まれているため、システムを動作させる場合、AT インターフェイス用のハードディスクとコントローラのマッチングに気を遣う必要はない。また、自分のドライブでRLLデータコーディング方式を処理可能かどうか、どのような ESDI 転送速度を使用すればよいのか、といったことに悩む必要もない。これらは、設計段階でメーカーが解決済みの問題である。このような多数の利点のため、システムレベルのインターフェイスは、今日のパーソナルコンピュータ用周辺機器に広く採用されている。

ATアタッチメント(IDE)

パーソナルコンピュータ用のハードディスクインターフェイスとしては、現在は AT アタッチメント設計が主流になっている。これは、AT アタッチメントがコンピュータ用のバスとして最も普及している ISA 拡張バスに基づいていることを考えれば、当然の帰結である。このシステムレベルのインターフェイスは、速度において、既存のどのようなデバイスレベルのインターフェイスをも凌駕している。これを上回る速度を持つインターフェイスは、最新設計の SCSI インターフェイスしかない。

AT インターフェイスは、本来は低価格の小容量ドライブでの使用を前提として設計されたが、ここ数年の間に爆発的な普及を遂げた。これには3つの無理からぬ理由がある。ドライブメーカー、コンピュータメーカー、ユーザーのそれぞれにとって、明らかな利点があったのである。

第1の理由は最も重要である。コンピュータを購入する側であるユーザーにとって、AT インターフェイスのドライブは非常に便利なのである。接続が簡単で、信号ケーブルと電源ケーブルの2本のケーブルをつなぐだけですむ。従来型のハード

ディスクを接続する場合に問題となっていた点は、 大部分が解消された。終端の適切な処置にも、デイジーチェーンのどこにドライブを接続するかに も、悩む必要はない。

AT インターフェイス方式では、各ドライブに割り当てられるドライブ番号は、ケーブルではなく、ドライブによって決まる。その上、RLLデータコーディング方式や変調方式などを考慮する必要がない。最新の AT アタッチメント方式のドライブでは、様々なセットアップパラメータが用意されており、システムのセットアップは非常に簡単である。

AT インターフェイスによる接続方式の中には、パーソナルコンピュータ用のハードディスクインターフェイス方式としては最高速のデータ転送速度を持つものがある。以前は最高速の座を占めていた ESDI 方式と比べると、2~3 倍は高速である。また、従来型のハードディスクインターフェイスよりも低コストで、多くのデータを転送することができる。

普及の第2の理由は、コンピュータメーカーにとっての利点である。ATインターフェイスを採用すれば、独立したハードディスクコントローラを製品に添付する必要がなくなり、コスト上のメリットが生まれる。不必要なコントローラにコストをかけなくてもすむため、ユーザーに低価格で製品を提供できるようになる。また、ATインターフェイスを使用するドライブは、これまでのインターフェイスをシステムに導入する場合と比較すると、ケーブル1本と拡張ボード1枚が少なくてすむため、製造コストも安い。

システムボードに特殊なATインターフェイスコネクタを装備すれば、当然、メーカー側のシステム構築コストは上昇する。しかし、システムボードの中核を成している現行の最新チップには、ATインターフェイスに対する内部サポートが組み込まれているため、ハードディスクインターフェイスの製作には基本的に費用はかからない。ハードディスクなどの周辺機器用にシステムボードに追加するコネクタが、システムメーカーにとっての唯一のコスト増ということになる。

当初、ハードディスクメーカーにとって、AT イ

ンターフェイス用の制御回路をドライブ上に組み込むことは利点とはいえなかった。統合化によって構造が複雑になるため、コスト増が懸念されたのである。しかし、IDEを始めとするディスク設計上の数々の新技術がもたらした恩恵によって、制御回路の統合化は、ハードディスクメーカーやほかの周辺機器メーカーにとって、大きなメリットに変わった。

電子機器すべてに共通することだが、ハードディスクドライブ上の制御回路もまた大規模集積化への道をたどりつつあり、必要な機能をすべて搭載した大型の単一チップ(または、少数の大型チップで構成されたセット)の開発競争が繰り広げられている。VLSIチップへの機能の集約は、開発費こそ大きいが、部品点数が減るために、チップの製造コストや製品の組み立てコストが減少するからである。また、部品点数の減少は故障の発生頻度の低下につながり、保証や保守費用の削減という効果も出てくる。

ただし、ディスクの製造メーカーの立場で見た場合、ATインターフェイスの最大のメリットは、ハードディスクの設計上の自由度が高く、同じメカニズムからでもそれまでよりも高い性能を引き出せることにある。ATインターフェイスが介在することによって、ディスクの設計や動作の肝心な詳細がホストコンピュータからは見えなくなる。そのため、従来型のインターフェイスにつきまとっていた規制や制限を難なく打破することができるのである。コンピュータシステムの側がその変化に気付くことはない。ユーザーにとっては、従来型のハードディスクに感じていた不便が解消されることになる。

歷史

AT インターフェイスを使用してパーソナルコンピュータにハードディスクを接続するというアイデアは、Compaq Computer Corporationが「Portable II」コンピュータを開発していた時期に生まれた(Portable II の開発はその後中断されている)。ハードディスクドライブをコンピュータシステムに組み込む際に必要なスロットの数を減らすために、1985 年に新型インターフェイスの設計

が開始された。Portable II は装備できるスロットの数が少ないため、ハードディスクコントローラをスロットに装着せずにすめば、空きスロットを1つ増やすことができると考えたのである。当初の設計では、コントローラは依然として、Western Digital Corporation が Compaq の仕様に合わせて作製した単独のボード上に構成されていた。ただし、このボードはドライブに直接取り付けるようになっていた。

"Integrated Drive Electronics(IDE)"という言葉 の誕生は1986年にさかのぼる。その頃、Compag は、Western Digital や、Control Data Corpora tion(CDC)の磁気周辺装置事業部(現在は Seagate 社の一部門になっている)との間で、Western Digi tal 製のコントローラチップを、5.25 インチで 40M バイトの CDC 製ハーフハイトハードディスクド ライブに組み込むための共同開発を行っていた。 完成した製品では、コントローラはハードディス クと一体化されていたが、コントローラの回路そ のものはハードディスク用のそのほかの回路とは 離して形成された。このハードディスクドライブ は、コンピュータ本体の拡張スロットに装着した マルチファンクションボードに接続するという形 で、まず Deskpro 386 に搭載された。その際、1 つの接続を通じて2台のドライブを制御できるよ うに、仕様が拡張されている。

1986年半ば、CDCとの共同開発と並行して、Compaqは、Conner Peripheralsとの間でもう1つの共同開発を開始した。この共同開発では、当時 IDE インターフェイスと呼ばれていたものを、ハードディスクの制御回路のほかの部分と統合したゲートアレイでエミュレートする研究が行われた。コントローラが真の意味で統合化されたのはこのときであり、これによってハードディスクシステムのコストや複雑さは軽減され、信頼性が向上した。AT インターフェイスのコネクタがシステムボード上に装備されるようになるのは、Compaqの「Portable III」からである。

AT バス接続のメリットが明らかになってくると、ほかのディスクメーカーもこの規格を採用するようになった。ところが、公式規格の制定はおろか、非公式なガイドラインの勧告さえも行われ

なかったため、ドライブメーカーによる各社各様の機能拡張や改変を招く結果となった。そのため、初期のATインターフェイスを組み込んだドライブでは、製造メーカーが異なると非互換性の問題が生じる可能性がある。特に、メーカーが異なる2台のドライブを同一のATインターフェイスコネクタに接続すると、正常に動作しないことがある。

1988年10月、ハードディスクドライブの製造メーカーとユーザー企業によって、CAM (Common Access Method) 委員会という名称の業界団体が結成され、AT インターフェイスの標準規格をまとめることになった。この団体が1989年3月にATアタッチメントインターフェイスとして発表した仕様は、1990年11月に規格案としてANSI(米国規格協会)に提出され、1991年に最終規格として公式認可された。

■インプリメンテーション

厳密な意味でのATインターフェイスドライブとは、パーソナルコンピュータの拡張スロットに直接装着できるものをいう。つまり、ハードディスクカードである。このドライブは、ほかの拡張ボードとまったく同一の信号やコネクタを使用する。したがって、拡張バスはまさしくATインターフェイスである。

実際のATインターフェイスドライブはこれとは異なっている。ATインターフェイス仕様に準拠したドライブでは、インターフェイス名から想像するような標準ISAバスへの直接接続は行わない。ISAバスに流れる信号とは少し異なる信号を使用した特殊なコネクタに接続するのである。

この違いは、コンピュータの拡張バスが、設計上、プラグ接続するようにはなっていないことから生じる。拡張バスの回路は、システムボードのバックプレーンを超えて効率よく信号を伝送できるようには作られていないのである。さらに、将来的にシステムを拡張することを考えた場合、5.25 インチのフルハイトのハードディスクを拡張スロットにじかに装着することには抵抗がある。このドライブはあまりにも大きくて無骨である。したがって、AT インターフェイス方式のドライブでは、パーソナルコンピュータのシステムボード上に装備さ

れる、AT規格に準拠した特殊なコネクタを使用 することにした。中には、ISA 拡張バスや EISA 拡張バスを備えたパーソナルコンピュータに、小 型のホストアダプタカード(制御回路はドライブ 上にあるため、このカードはコントローラカード とは呼ばない)を装着して、このカードに AT イ ンターフェイス方式のドライブを接続する場合も ある。ただし、マイクロチャネルやローカルバス の信号は、ATインターフェイスが使用する信号 とはかなり異なっているため、これらのバスは、 AT インターフェイス方式のドライブとは直接的 な互換性がない。しかし、AT インターフェイス を使用するドライブはすでに広く普及しているた め、マイクロチャネルシステムやローカルバスの スロットに AT インターフェイスのドライブを接 続できるように、一部のボードメーカーが信号の 変換を行う製品を販売している。

ハードディスク用のATインターフェイスは、ISAバスとの完全互換を目指すのではなく、バス信号を少し変えて複雑さを軽減し、互換性を高めている。ハードディスクの動作には、ISA拡張バスの98本の接続の一部しか必要としない。たとえば、通常のハードディスクはメモリマップ型の装置ではないので、ハードディスクの制御に、ATバスの24本のアドレスラインをすべて使用する必要はない。

ATインターフェイスの設計では、バスのアドレス信号を直接利用するのではなく、ハードディスクからのケーブルをアドレスデコード回路に接続するようにしている。この回路によって、ハードディスクの制御に使用されるアドレスに送信された信号だけがドライブに送られるため、アドレスラインは不要になる。ATインターフェイスの接続が実際に使用するアドレスは、仕様には定められておらず、ホストコンピュータの回路やBIOSによって異なっている。

AT インターフェイスの設計では、アドレスデコード回路に加え、バッファ回路を使用して、ケーブルを通じたコネクションがディスクドライブまで安全に保持されるようにしている。ISA 拡張バスの8 MHz のバスクロックに対応して、これらの信号は相対的に高速であるため、接続ケーブル

の長さには厳密な制限がある。AT インターフェイスの仕様の下では、信号ケーブルの最大長は18インチに制限されている。

ISA バスでは2本のコネクタで合計98本のピ ンが使用されていたが、AT インターフェイスの仕 様では、40ピンのコネクタ1本ですむようになっ た。データ用の16ビット以外は、各種の制御信号 用である(データ用端子については、一部の拡張 ボードが8ビットのコネクタしか備えていないた め、ATインターフェイス方式のドライブやホス トアダプタの中にも8ビットしか使用しないもの がある)。制御信号は、ドライブ上の制御回路内 の入出力レジスタを通じて、AT インターフェイ ス方式ドライブの機能を管理する。制御信号には、 データの読み取りや書き込みを要求するための信 号、DMA 転送を行うための信号、診断の実施結 果を調べるための信号、ATインターフェイスの ポートに接続可能な2台のドライブのどちらが一 定の機能を実行するのかを示す信号などがある。 また、一部の製品では、ディスクアレイを構成す るためには、2台のドライブを同期して回転させ る必要があるため、"スピンドル同期"信号も送ら れる。

AT インターフェイスの 40 本の接続には、拡張ボードに使用されるエッジコネクタではなく、ピンコネクタが採用されている。ピンコネクタ(ヘッダともいう)では、金メッキされたピンが 2 列にわたって 0.1 インチ間隔で並んでいる。

AT インターフェイスのコネクタには、ATA 信号ケーブルをユーザーが正しく接続できるような工夫が施されている。ホスト側のコネクタにある40本のピンのうち、20ピンは存在せず(たとえば、20ピンだけを抜き取ってある)、ケーブル側のコネクタでは、20ピンに対応する穴は塞がれているのである。コネクタを上下逆に(別のいい方をすれば、裏表逆に)差し込もうとすると、20ピンのスペースにピンがあるため、逆になっていることに気付くというわけである。

AT アタッチメントインターフェイスでは、7本のピン(2, 19, 22, 24, 26, 30, 40) は接地用で、各信号を絶縁するために余分な信号を逃がす役割を果たす。 $3\sim18$ の 16 本のピンはデータ専用であ

る。ただし、仕様上は、奇数番号の8本のピンだけを使用して、8ビット接続を行うように定められている。残る16本のピンは各種の信号制御機能に割り当てられている。たとえば、データの読み取りや書き込みの要求、DMA 転送、2台のドライブの動作の調整などである。

インターフェイスを通じたデータ転送を制御するための信号には、専用の接続が用意されている。ドライブに対するコマンドや(エラー発生の通知などの)ドライブからの応答は、17個の8ビットレジスタを通じてやり取りする。

AT アタッチメント規格の制御下にある2台のドライブは、無条件に、すべての接続を共有し、インターフェイスを通るすべての信号を受信する。そのため、AT アタッチメントでは、送信するコマンドがいずれのドライブを対象にしたものであるかを通知するために、特殊な制御レジスタを使用する。このレジスタは、使用すべきヘッド、トラック、セクタを指定するためにも使用される。

レジスタの選択には7本の信号を使用する。レジスタには、制御ブロックレジスタとコマンドレジスタの2種類があり、2本のインターフェイス信号によって使い分ける。制御ブロックレジスタを選択する場合は、ドライブチップ選択0信号(37ピン)をアクティブにする。コマンドレジスタを選択する場合は、ドライブチップ選択1信号(38ピン)をアクティブにする。ドライブI/O書き込み信号(23ピン)がアクティブになっている場合は、インターフェイスのデータラインを通じて、ホストからのコマンドを受信するレジスタにアクセスすることができる。ドライブI/O読み取り信号(25ピン)がアクティブになっている場合、このレジスタは、データラインを通じてドライブの状態を示す。

35、33、36のピンはドライブアドレスバスの0~2であり、現在選択されているレジスタはどれか、データラインを通じて現在アクセス可能なレジスタはどれかといったことを、(ほかの信号とともに)管理する。ATアタッチメント規格では、読み取り制御ブロックレジスタが2つ、書き込み制御ブロックレジスタが1つ、読み取りコマンドブロックレジスタが7つ、書き込みコマンドブロックレジスタが7つ、書き込みコマンドブロックレジスタが7つ、書き込みコマンドブロッ

クレジスタが7つ規定されている。アクティブなドライブとヘッド(16基のヘッドまで制御可能)の選択には、書き込みコマンドブロックレジスタを1つ使用する。ドライブ上のトラック(1台のドライブ上で最大65,536本)、読み取りや書き込みの開始セクタ、および読み取りや書き込みの対象となるトラック番号の選択は、2つのレジスタを使用して行う。読み取りレジスタは、どのドライブとヘッドがアクティブかということと、走査されているトラックとヘッドを表わす。そのほかのレジスタは、状態に関する情報を提供し、ドライブの動作中に発生したエラーを表わす。

使用可能なレジスタのビット数によって、装置のサイズが論理的に制限される。16個のヘッド、65,536本のトラック、トラックあたり256個のセクタが最大のサイズである。パーソナルコンピュータの多くは1,024本を超える数のトラックを処理できないため、ATアタッチメント方式のドライブでの実用上の最大記憶容量は、2,147,483,648バイト(2Gバイト)になる。

有効なデータの転送時には、ドライブからの着信データとドライブへの送信データを区別したり、制御レジスタの値が有効で、それが使用できるということを示すために、分離信号をストローブ信号として使用する。ディスクから読み取られた有効なデータがバス内を移動中のときには、ドライブI/O読み取り信号(25 ピン)が低位になる。ディスクに書き込まれる有効なデータがバス内を移動中のときには、ドライブI/O書き込み信号(23 ピン)が低位になる。

16 ビット I/O 信号 (32 ピン) は、読み取り転送または書き込み転送が 8 ビットと 16 ビットのどちらで行われているかを示す。この信号がアクティブの場合は、転送は 16 ビットで行われている。通常、AT アタッチメントでの転送は I/O プログラム転送モードで行われる。プログラム I/O は、AT 方式のハードディスクの BIOS を使用する場合の標準的な動作モードである。ただし、必要な場合は、DMA 転送を行うこともできる。DMA 転送中のハンドシェイクを制御する信号は 2 本ある。ドライブは、DMA 要求信号 (21 ピン) を送信することで、データの読み取り準備と DMA モー

ドでの転送準備が完了していることを通知する。ホストコンピュータは、DMA アクノリッジ信号 (29 ピン) を使用して、データの受信準備が完了していることを応答する。全データを一度に受信するのが無理な場合、ホストコンピュータは、後続のデータを受信できる状態になるまでの間、DMA アクノリッジ信号を停止する。

DMA モードでの書き込みの場合、ホストコンピュータは、DMA アクノリッジ信号を使用して、書き込み可能なデータを所有していることを通知する。選択されているドライブは、DMA 要求信号を使用して、データ転送を制御するハンドシェイク要求を行う。データが流れる方向(読み取りと書き込みのどちらが行われるのか)は、ドライブI/O読み取り信号とドライブI/O書き込み信号で指示する。

AT アタッチメント方式のディスクドライブは、ドライブ割り込み信号 (31 ピン)をアクティブにすることで、ホストコンピュータに割り込みをかけることができる。I/Oプログラム転送モードの場合、ドライブは、データブロック (通常はセクタ)の転送を開始するたびに割り込みを行う。DMA 転送モードの場合、割り込みが行われるのは、コマンドの完了を通知するときだけである (使用される割り込みはホストの回路によって決められる)。

ドライブがホストコンピュータに、読み書き要求の処理ができない状態であることを通知する場合は、I/Oチャネルレディ信号(27ピン)を使用する。通常、この信号はアクティブになっている。データの転送要求に対して即座に対応することが不可能になると、ドライブはこの信号をオフに切り換える。

ドライブリセット信号(1ピン)がアクティブになると、ドライブは、転送中のデータやレジスタの内容を放棄して、電源投入時の状態に戻る(設定を変更していた場合でも、すべてデフォルト値に戻される)。ホストコンピュータの電源が投入されると、この信号が短時間(最低でも25マイクロ秒間)アクティブになって、ドライブの初期化が行われる。したがって、この信号をアクティブにすると、実行中のコマンドを取り消して、ドライブを初期状態に戻すことになる。

診断完了信号(34 ピン)は、スレーブドライブが、診断を実行中であることを通知する場合に使用する。 "診断完了"という名称にもかかわらず、この信号は診断の正常終了を示しているわけではない。診断の結果をホストコンピュータに通知できる状態になったことを示しているだけである。実際の診断結果(および診断を実行するコマンド)は、AT アタッチメントインターフェイスのレジスタを通して与えられる。

スピンドル同期/ケーブル選択信号(28ピン) は、2台のドライブの回転を一致させるため(ディ スクアレイを構成する場合などに必要になる)、ま たは、ドライブ上のジャンパーやスイッチを使用 せずに、ケーブルを通じて間接的にマスタドライ ブまたはスレーブドライブとして設定するために、 ドライブメーカーが必要に応じて使用する。スピ ンドル同期信号として使用する場合、マスタ側の ドライブは定期的に(製造メーカーによって異な るが、通常はディスク1回転に一度)パルスを生 成し、スレーブ側はこの信号を使用して自らの回 転をマスタに合わせる。ケーブル選択信号として 使用する場合、28ピンを接地することで、ドライ ブはマスタ (ドライブ 0) として動作することがで きる。端子がオープンにされている状態では、ド ライブはスレーブ (ドライブ1) として動作する。

39 ピンには、ドライブアクティブ/ドライブ1 存在という信号が割り当てられている。この信号 は、いずれか1つのドライブがアクティブ(たと えば、ドライブシステムのフロントパネルにある ドライブアクティビティインジケータが点灯して いる状態)であることを示す。この信号はまた、イ ンストールされている AT アタッチメント方式の ドライブが1台なのか2台なのかを判断するため に、電源投入時にホストコンピュータが使用する。 システムの起動時、スレーブとして設定されたド ライブには 400 ミリ秒が与えられるので、この時 間内に39ピンに信号を出力して、自らが存在す ることをホストコンピュータに通知する。 マス タードライブは、スレーブドライブが通知を行え るように 450 ミリ秒間待機した後、今度はマスタ ドライブがこのピンを使用して、自らの存在をホ ストコンピュータに通知する。その後、ホストコ

ンピュータからの最初のコマンドを受信した時点、あるいは31秒間の待機を終えた時点(どちらか早い方が採用される)で、ドライブはこの信号をオフにして、信号の機能をドライブアクティビティの通知に切り換える。

AT アタッチメント規格は包括的ではあるが、あらゆる点を定義しているわけではない。最大の問題は、パーソナルコンピュータとドライブ間の接続しか規定されていないことである。上流(コンピュータ内部)の処理はホストコンピュータの設計者に任されており、制御レジスタのI/Oアドレスは決められていない。I/Oアドレスを決めるデコード回路は、パーソナルコンピュータのホストアダプタ回路に組み込まれている。また、リンクの確立に必要な情報は、システム BIOS(またはアドイン BIOS)によって提供される。

したがって、AT アタッチメント方式のドライブを正しく動作させるためには、システム BIOS が非常に重要になる。ところが、古い BIOS の中には、このドライブを正しく制御できないものがある。特に、日付が 1990 年 4 月 9 日以前の AMI BIOS は完全には互換ではない。システムの BIOS が古い場合は、AT アタッチメント方式のドライブを使用するためには、BIOS を取り替える必要がある。

AT アタッチメントは、ディスクとパーソナルコンピュータの距離を近づけただけではなく、ユーザーにとってもドライブメーカーにとってもメリットの大きな方式であるため、今後も普及が続くと思われる。ユーザーにとっては、あらゆるインターフェイスの中で最も容易かつ気軽にインストールが行える。ドライブメーカーにとっては、速度や容量を改善できる余地が大きい。その上、コストの低さが低価格につながるため、メーカーは販売数の増加を期待でき、ユーザーは経費を抑えることができる。

| 性能

速度は、AT インターフェイスが持つ最大の可能性である。ただし、初期のドライブではその可能性を十分に引き出せていなかった。1991 年末の

時点では、AT インターフェイス方式のドライブ は大部分が旧型製品のマイナーチェンジ版であり、 AT インターフェイス用の制御回路を継ぎ足した だけの中途半端なものであった。そのため、ドラ イブの回転速度やデータの記憶密度などに関する 旧式のインターフェイスの制限を引きずっていた。 AT インターフェイスが本来の能力を発揮したの は、システムレベルのインターフェイスに照準を 絞った新しいドライブが設計されてからである。 AT バスをベースにしていることから考えて、AT インターフェイスは大きな能力を持っているはず であり、ホストコンピュータのバスとまったく同 一のスループットを実現できなければおかしい。 信号をやり取りするほかのインターフェイス規格 のために、新たな制限を設ける必要もないはずで ある。これに対して、ST506 インターフェイスと ESDIインターフェイスでは、ディスクとの間で 情報をやり取りする速度を、ISAバスの本来の速 度の1/3から1/12のシリアル転送速度に落と してしまう。

AT インターフェイスによる接続では、本来、ISA バスとまったく同じスループットを実現できるはずである。8 MHz の公称クロック速度の場合、AT インターフェイスによる接続で8ビット単位の転送を行えば、毎秒 4M バイトのデータを転送できる(一度の転送に2バスサイクルを要するため、インターフェイスはバスのクロック速度の半分で1バイトを転送する)。16 ビット単位の転送では、理論上の最大スループットは2倍になり、毎秒8M バイトに達する。

これらの数字はあくまで理論値であり、実効速度との間には差がある。ドライブ機構には速度上の限界があるため、現実のスループットがその影響を受けるのである。ただし、ATインターフェイスを使用する装置に大容量のオンボードバッファを搭載し、ホストコンピュータから要求されるデータをこのバッファに満たしておけば、このインターフェイスの速度の上限を極めることは可能である。バッファを利用することによって、データ要求がドライブ操作の機械的な遅延の影響を受けずにすむのである。

SCSI

SCSIは、コンピュータ業界では通常は"スカジー"と発音するが、熱烈な擁護者は"セクシー"と読む。システムレベルのインターフェイスである SCSIは、拡張バスに周辺機器を接続するための基本機能を提供する。SCSIは、装置とパーソナルコンピュータを接続するための単なるコネクションではなく、サブバスとして機能する。SCSI装置間では、ホストコンピュータのマイクロプロセッサが介入しなくても、データを交換することができる。実際、これらの装置は、ホストコンピュータ本来の拡張バスを通した転送が行われているときでも、SCSIバスを介して動作することができる。

ほかの拡張バス同様に、SCSIバスには、ほとんど制限なく多種多様な装置を接続することができる。接続した装置は、1つのポートを使ってコンピュータとの通信を行う。1基の SCSI ポートには、7 台までの SCSI 機器をデイジーチェーン接続することができる。接続した装置はすべて、SCSIポートを通じたホストシステムの制御下で単独に機能する。

AT インターフェイスと同様に、SCSI でも、装置と SCSI アダプタ間はパラレルに接続される。 大部分の SCSI システムでは、心数の多い 1本のケーブルで SCSI 機器の接続を行う。このケーブルの基本的なピン配列を表 19-3 に示す。

表 19-3 SCSI ケーブルのピン配列

ピン	機能	ピン	機能
1	Ground	2	データライン 0
3	Ground	4	データライン 1
5	Ground	6	データライン 2
7	Ground	8	データライン 3
9	Ground	10	データライン 4
11	Ground	12	データライン 5
13	Ground	14	データライン 6
15	Ground	16	データライン 7
17	Ground	18	パリティライン (データ)
19	Ground	20	Ground
21	Ground	22	Ground
23	Ground	24	Ground
25	接続なし	26	ターミネータ電源
27	Ground	28	Ground
29	Ground	30	Ground
31	Ground	32	アテンション
33	Ground	34	Ground
35	Ground	36	ビジー
37	Ground	38	アクノリッジ
39	Ground	40	リセット
41	Ground	42	メッセージ
43	Ground	44	選択
45	Ground	46	C/D
47	Ground	48	リクエスト
49	Ground	50	I/O

1991年、SCSIの新しい改訂版が発表された。 SCSI 2と呼ばれるこの新 SCSIでは、複数の SCSI機器の併用に関する問題点がある程度解消 され、SCSI転送の速度も向上している。旧 SCSI の8ビットバスは拡幅され、16ビットや32ビット のデータラインを使用できるようになった。SCSI 転送の速度が2倍になったため、Fast SCSIとい う別名でも呼ばれている。この新 SCSI 規格では、 本来は補助コネクタを使用して信号線を追加する ようになっていたが、1 基のコネクタにすべての 信号線を収めるタイプも新たに採用された。

■操作とアービトレーション

単一の SCSI バスに接続した装置はすべて、 SCSI アダプタを介したホストコンピュータの制御 下で、それぞれ独立して機能する。単にバスの専 用線上の信号を使うといった、電球程のインテリ ジェンスしかないダム型の装置でも理解できるよ うな方法ではなく、SCSI は、接続される機器が高 度なインテリジェンスを備えていることを前提と して、機器の制御を、基本的に独自のコンピュー タ言語である専用コマンドセットによって行う。

SCSIは、従来のハードディスクインターフェイスよりもむしろコンピュータの拡張バスに近い。また、先進的なバスであるマイクロチャネルや NuBus 設計にも似ている。これらの最新のコンピュータバスと同様に、SCSIもアービトレーション機能を備えているのである。アービトレーション機能は、バスに接続された複数の装置間で、バスの使用権を持っている装置がどれなのか判断するものである。使用権をホストコンピュータが管理すると、ホストコンピュータのマイクロプロセッサがほかの処理を行っている場合には遅延が生じてしまう。SCSIバスのアービトレーション機能では、使用権のアービトレーションをバス上の装置が代行する。

SCSIバスのアービトレーション機能はハードウェアで実現されている。接続可能な7台までのSCSI機器には、それぞれに固有の識別番号が割り当てられる。割り当ては、通常、装置上のジャンパースイッチかDIPスイッチを設定することで行う。これは、ST506インターフェイスの装置で

ジャンパースイッチを使用してドライブの選択を 行っていたのと同じ方法である。

SCSIバスにアクセスを行いたい装置 (イニシエータという) は、バスがあくのを待ってから、SCSI データラインのいずれかを通じて信号を送信し、自分の存在を通知する。また同時に、対話を行う相手の装置 (ターゲットという) に対応した別の SCSI データラインを通じて信号を送信する。SCSI 接続には 8 本のデータラインがあるため、7台の SCSI 機器と 1 台のホストコンピュータをそれぞれ特定することができる。

なお、アービトレーション機能は、ホストコンピュータとは無関係に、SCSI機器間で行うことができる。また、SCSI機器間での情報の転送も、ホストコンピュータの介在なしに行うことができる。たとえば、SCSIハードディスクは、ホストコンピュータの助けがなくても(そして、ホストコンピュータの性能に影響を与えずに)、SCSIテープドライブにデータをバックアップすることが可能である。コンピュータシステムにおける真の並行処理とは、バックグラウンドでの操作ではなく、このようなバックアップ方法にこそふさわしい言葉である。

さらに、SCSIは再選択機能も備えている。再 選択機能とは、一時的にバスへのアクセスが不要 になった装置がバスを解放してほかの操作を実行 し、その後にバスの制御を再取得することをいう。 たとえば、フォーマットの指示を受け取ったディ スクドライブは、フォーマット操作を実行する間、 バスとの接続を切り離す。実質的に、これもまた 並行処理である。

SCSIは高レベルのインターフェイスであるため、コンピュータと、そのコンピュータに接続された周辺機器の内部動作は分離されている。たとえば、SCSI規格の規定では、コンピュータホストとは無関係に、ハードディスクが単独で自らの不良トラックを監視することができる。発見された不良トラックはハードディスクが自ら再割り当てを行い、ホストコンピュータにはすべて正常であると報告する。また、不良になることが予想されるセクタをハードディスクが自動的に検出し、そのセクタ内のデータをほかのセクタに移すことも

できる。この作業に、ホストコンピュータやユーザーがかかわる必要はない。

■互換性

SCSIハードディスクでは、ホストコンピュー タがディスク上のセクタやトラックを認識する必 要はまったくない。SCSI システムでは、データ をブロックという高度なレベルで処理するため、 ブロック処理方式の装置は SCSI 接続の長所を生 かすことができる。特に、Macintosh のオペレー ティングシステムには SCSI での処理を前提とし た機構が組み込まれているため、Mac 環境では SCSI がその真価を発揮する。これに対して、PC DOS や MS-DOS は SCSI 処理機構を備えていな いため、IBM 標準システム用の SCSI ホストアダ プタでは、セクタやトラックに関する操作要求を SCSI形式の要求に変換する必要がある。このた め、少なくとも、システムはディスクドライブを 直接的に管理する必要はなくなるが、IBM ベース の SCSI システムでは、アドレス変換に起因する オーバーヘッドによってシステムの性能がかなり 低下することになる。特に、第一世代の SCSI 装 置や SCSI ホストアダプタでは、この欠点が顕著 に現れる。そのため、これらの SCSI 機器のメー カーは速度向上に努めてきたが、市場に出ている SCSIホストアダプタのスループットには依然と してかなりの開きがある。最速の製品は SCSI イ ンターフェイスの限界に近い速度を達成している が、旧式インターフェイス並みの速度しか出せな い製品も存在するのである。

Apple の Macintosh は、業界標準となっている SCSI インプリメンテーションとのわずかな相違 点を批判されてきたが、異なる点は採用されているコネクタだけである。標準的な SCSI 接続では、特殊な 50 ピンコネクタ1 基が使用されている。非同期伝送を採用した既存の SCSI 装置では、コネクタの心数の半分以上を接地用に(冗長信号の返送線として)使用する。一方、Macintosh では、シリアルポート用のコネクタに似た小型の 25 ピン Dsub コネクタが採用されており、冗長信号用の接地線はほとんど設けられていない。小型コネクタであることが Macintosh での採用理由だと思

われるが、これによって、ケーブルの接続も簡単かつ便利になっている。

SCSIの長所を生かして複数の機器を1台のホストコンピュータに接続するためには、互換性という大きな問題をクリアしなければならない。実際には、ほかの機器との相性が悪い装置があるのである。この非互換性の原因は、SCSIという規格の柔軟性にある。SCSI規格では、ハードウェアのすべてのパラメータは厳密に定義されているのに対して、ソフトウェアの仕様はかなり緩やかになっている。SCSIコマンドセットの多くはメーカーの選択に任されており、装置に搭載する機能は、その装置自体が使用するものだけでよい。さらに、SCSIインターフェイスを通じてホストコンピュータが SCSI機器を制御する手段が、SCSI規格では規定されていない。手段の選択は、システムの設計者に任されているのである。

SCSI 開発時の本来の動作対象であったミニコンピュータでは、この柔軟性は有効であった。装置メーカーは、それぞれ、特定のコンピュータシステムに合わせてホストアダプタを設定していたためである。ところが、様々な機種が共存する DOSパーソナルコンピュータの世界では、SCSI の柔軟性には問題が多い。現在、DOSのコンピュータシステムでは、CAM と ASPI という 2 種類の標準規格が SCSI 制御の主役の座を争っている。ところが、この 2 種類の規格は別の方向を目指しているようである。

CAM は Common Access Method の略であり、AT アタッチメント方式の標準規格の制定に貢献した団体 (CAM 委員会という)が独自に開発した SCSI 規格のインプリメンテーションである。これは、パーソナルコンピュータのオペレーティングシステムを通じて、直接、SCSI 機器にアクセスすることができる。これまで CAM を公式に承認した規格制定組織はないが、提唱されてからの期間が長いため、かなりのメーカーが自社の製品に採用している。 CAM 準拠の SCSI ホストアダプタはオンボード BIOS を備えており、この BIOSによってオペレーティングシステムとリンクされる。 CAM に合わせて作成されたプログラムがオペレーティングシステムに要求を発行し、該当す

る SCSI 機器がその要求を実行する。なお、OS/2 のバージョン 2.0 は CAM 準拠であるが、残念な がら CAM 準拠の DOS は現時点では存在しない。

もう1つの SCSI 制御システムである ASPI (Advanced SCSI Programming Interface O 略) は、Adaptec というホストアダプタメーカー が開発したものである(ASPIの"A"はもともと は Adaptec の A を意味していたが、Adaptec 社 が標準規格として認められやすい名称に変更し て、Advancedとなった)。現在、このASPIは パーソナルコンピュータ業界に広く浸透しており、 Adaptec 社は "事実上の標準規格" であると主張し ている。ASPIは、ソフトウェアインターフェイス に対して、ドライバソフトウェアを使用した階層 化された手法を採用した。プログラムは、SCSI装 置に対する通信やコマンドの送信を、装置ごとに 専用のソフトウェアドライバを通じて行う。個々の デバイスドライバと SCSI システムのハードウェ アとのリンクは、統合 ASPI ドライバが担当する。

ASPI 準拠のホストアダプタの BIOS は、ASPI ドライバとのリンクを確立するための基本サービ スを提供するだけである。

通常、ASPIのBIOSは、WD1002エミュレーション機能を備えている。つまり、1台または2台のSCSIハードディスクをホストアダプタに接続して、それらをWestern Digital 社のWD1002というST506方式のハードディスクコントローラとディスクの組み合わせであるかのように見せることができるのである。この機能によってシステムを起動した場合は、特別なドライバを使用しなくても、1台目のSCSIディスクをドライブCに、2台目をドライブDにすることができる。ただし、BIOSでサポートできるのはこれが限界であり、ソフトウェアドライバをロードしない限り、ASPIベースのシステムで、ハードディスクなどのSCSI機器をこれ以上認識することはできない。

ASPI システムを完全にセットアップするため には、パーソナルコンピュータの CONFIG.SYS ファイル内に、必要なデバイスドライバをすべて 設定しておかなければならない。また、ホストアダプタや、(最初の2台のハードディスク以外に)接続する SCSI 機器用のドライバをインストールする際には、ASPIドライバもインストールする必要がある。各装置の専用ソフトウェアドライバが SCSIシステムとのリンクを行うときには、ASPIドライバが必要になるため、CONFIG.SYSファイル内では、SCSIデバイスドライバのエントリの前に、必ず ASPIドライバのエントリがなければならない。

ASPIシステムの構築時には、不注意による問 題が発生しやすい。ハードディスクと SCSI ホス トアダプタを同時に購入し、よく調べないままで、 それが IDE AT インターフェイスや ESDI ハード ディスクであるかのように、そのまま単純に接続 しているユーザーがいる可能性がある。この場合、 ハードディスクは問題なく正常に動作する(BIOS の WD1002 エミュレーション機能のおかげであ る)が、ASPIドライバがインストールされていな いため、後で追加した CD-ROM プレーヤーな どをいざ使用しようとすると、CD-ROM プレー ヤーのドライバが ASPI ドライバを発見できない という事態が発生するのである。ASPIドライバ がなくても曖昧なエラーメッセージしか発行され ないため、数時間もの間、原因を探して悩むこと になりかねない。これを避けるには、SCSIホスト アダプタに付属しているディスクから、忘れずに ASPIドライバをインストールすることである。

ソフトウェアドライバがターゲット装置の探索を行うのは、通常、システムのブート時である。そのため、パーソナルコンピュータの電源を投入するときには、外付けの SCSI 装置はすべて作動中でなければならない。つまり、SCSI 装置の電源をすべて投入した後で、パーソナルコンピュータの電源をオンにするようにするか、あるいは、電源ボックス (コンセントボックス)を使用して、パーソナルコンピュータと SCSI 周辺機器の電源をすべて一度に投入するようにしておくとよい。

19.8 キャッシュ

ハードディスク、フロッピーディスク、光ディス クなどの大容量記憶装置には、必ず、アクセス速 度と転送速度という2種類の速度に関する制約が つきまとう。アクセス速度とは、特定のバイトま たはブロックの情報をディスクドライブから読み 取るようにコンピュータが要求を発行した瞬間か ら、その情報がディスクトで発見されるまでの、不 可避の遅延時間をいう。仕様上、アクセス速度は 平均アクセス時間という数字で表わす。平均アク セス時間とは、ドライブの読み書きヘッドがディ スクのトラック間を移動するのに必要な平均時間 (ミリ秒単位)である。一方、転送速度とは、ディ スク上に格納された情報をパーソナルコンピュー タの作業メモリに取り込む速度をいう。通常は、 1秒あたりの転送データ量をメガバイト単位で表 わす。

アクセス速度も転送速度もドライブの設計上の問題ではあるが、速度の上限は駆動機構の限界によって決まる。アクセス速度は、原則として、ディスク機構がヘッドを移動させられる速度によって決まる。一般的にいって、小型のヘッドほど慣性が小さいため、短時間での移動が可能になる。また、駆動機構が強力であれば、同じ時間で重いヘッド機構を移動できる。一方、転送速度の上限は、おおむね、ディスクの回転速度とトラックのデータ記録密度によって決まる。ディスクの回転が速く、ディスク上のデータビット間の間隔が狭ければ、一定時間にヘッドの下を通過するデータ量はそれだけ多くなり、情報を速く取り出せることになる。

これらの速度制限は機構的な限界に基づくものであるため、速度の飛躍的な向上は期待できない。 慣性運動の法則など、科学者の商売道具である各種の法則が瞬間的な加速を妨げようとするため、 機械システムを使用する限り、アクセスの遅延は 決してゼロにはならない。それどころか、現実の 駆動機構では、遅延の程度を人間が気付かないほどのレベルにまで下げることすら不可能である。 一方、ディスクの回転速度もまた機構上の限界によって制限されており(ディスクを過度に高速回転させると、遠心力で破壊される)、データの記憶密度も、読み書きを行う部分がディスク表面の個々のビットを見分ける分解能力によって制限されている。

駆動機構に関して大きな問題となるのは、コンピュータの電気的限界や論理的限界と比べて、機構的な限界には桁違いに低いレベルで達してしまうことである。コンピュータにはナノ秒単位やマイクロ秒単位で判断を行う能力があるにもかかわらず、ディスク上のデータが必要になった途端にミリ秒単位の待ち時間が発生する。大容量記憶装置から大量の情報を転送する必要がある場合には、待ち時間はさらに伸びることになる。

このような機構上の限界を突破する最善の方法 がキャッシュである。優れたキャッシュ機構があれ ば、必要な情報を電子の世界の単位に近い速度で 取り出すことが可能になる。

DOSベースのシステムにとっては、キャッシュには利点がもう1つある。DOSは基本的に単一処理のオペレーティングシステムである。つまり、一度に1つの機能しか実行できないため、現在処理中の機能が完了しない限り、次の機能は開始できない。ディスクへの書き込みを例に取れば、書き込み操作が終了するまでは、制御権はユーザーに戻されない。

しかし、このように本来は並行処理が不可能である DOS でも、キャッシュを使用すれば、ある程度の並行処理が可能になる。ディスクへの書き込み操作が終了していない段階で、制御権がユーザーに戻されるようになるのである。わずかこれだけのことでも、ディスクシステムへの書き込み時間が半減するほどの効果を発揮する。

ハードウェアキャッシュと ソフトウェアキャッシュ

キャッシュは、一般的に、キャッシュメモリとし

て使用するメモリのタイプに応じて、ハードウェ シュによる差がある。また、互換性上の障害が発生 アキャッシュとソフトウェアキャッシュの2種類に 分類される。しかし、実用上は、システム内のど の部分にキャッシュが置かれるかによって分類す る方が適切である。ハードウェアタイプかソフト ウェアタイプかの分岐点は、キャッシュの実現方法 にあるということだ。ハードウェアタイプのキャッ シュでは、キャッシュ用の増設メモリをシステムに 追加する必要がある。これに対して、ソフトウェア タイプのキャッシュでは、パーソナルコンピュータ が備えている RAM の一部を利用してキャッシュ を構築する。データ圧縮機能と同様、大容量記憶 装置用のキャッシュを置く場所としては、論理的 に3つの候補地が考えられる。装置自体、コント ローラまたはホストアダプタ上、そしてパーソナ ルコンピュータの RAM 上である。

ハードウェアキャッシュとソフトウェアキャッシュ の利点について書かれた様々な文献を調べると、 最終的な論点はコストに絞られる。ハードウェア キャッシュの場合は、パーソナルコンピュータに増 設メモリを装着しなければならない。 DRAM は ここ数年にわたって供給不足が続き、メモリのコ スト増の大きな原因となっているが、それにして も、手頃な大きさのキャッシュ (1M バイト)を構 成するために必要な RAM の現在の価格は、負担 になるような額ではない。ただし、ディスクコン トローラやホストアダプタの場合は、キャッシュ の有無による差は遥かに大きい。キャッシュ付き のコントローラの価格は、キャッシュなしと比較 すると3~5倍にも上ることがある。

ソフトウェアキャッシュの場合、通常、システ ムにメモリを追加する必要はない。このタイプの キャッシュでは、RAM の未使用領域を利用して ディスクの読み書きを高速化する。RAM に余裕 がない場合は、SIMM (Single In-line Memory Module) の購入費用だけで、メガバイト単位のメ モリ拡張が可能である。

キャッシュがもたらす速度向上の程度は、キャッ シュの論理的な存在場所に左右される。つまり、 ディスク記憶装置の機構的な制限に起因する速度 の低下にはいずれのキャッシュも効果があるが、シ ステム上のボトルネックの改善の程度にはキャッ する可能性も、キャッシュの種類によって異なる。

■装置搭載キャッシュ

ハードウェアキャッシュの最も自然な設置場所 は、装置自体の中である。この場合、システムと は無関係にキャッシュ機構を搭載することができ る上、メモリやソフトウェアを追加するための費 用は必要ない。このタイプのキャッシュでは、単 純にドライブ自体が高速になったように見える。

ただし、装置搭載キャッシュには大きな欠点が3 つある。まず、どのようなハードディスクにも搭 載できるとは限らない。最適なのは、SCSIイン ターフェイスや AT インターフェイスなど、シス テムレベルのインターフェイスを使用するハード ディスクである。このタイプのインターフェイス では、ディスク上の実際のデータが、ディスクの 回路内の管理情報(セクタ識別子)とは切り離され ているからである。第2の欠点は、インターフェ イスや拡張バスによるものなど、ディスクの機構 以外に起因する速度低下要因には効果がないこと である。3番目の欠点は、既存のディスクシステム の速度を改善できないことである。装置搭載キャッ シュを活用するためには、ディスクドライブを新 しいものに代えなければならない。

■コントローラ搭載キャッシュ

キャッシュを置く第2の候補地は、ディスクコ ントローラ上またはホストアダプタ上である。こ こに置いた場合は、新旧を問わず、あらゆるディ スクにキャッシュの効果が現れる。また、ディスク インターフェイスに起因する速度制限にもある程 度は有効である。必要なデータがキャッシュ内に あった場合には、ディスクインターフェイスを介 した場合の転送速度とは無関係に、拡張バスの最 高速度でデータがシステムに転送される。ただし、 このタイプのキャッシュにもボトルネックが残っ ている。それはバス自体の転送速度である。拡張 バスの動作速度は、マイクロプロセッサがデータ を処理する速度の数分の1に過ぎない。そのため、 キャッシュによってディスクの速度が向上したと しても、バスに起因するかなりの速度低下が発生

する。また、コントローラ搭載キャッシュの場合、 付加的なハードウェアが必要であるため、それが 大容量記憶システム全体のコストを押し上げるこ とになる。

■ ソフトウェアキャッシュ

キャッシュを設置する最後の候補地は、システム自体のメモリ内である。この場合、キャッシュはソフトウェアによって実現される。拡張バスよりも下流に位置することになるため、ディスク機構上の速度制限を改善するだけでなく、バスのボトルネックも解消される。ソフトウェアキャッシュに使用するメモリは、パーソナルコンピュータのマイクロプロセッサに直接接続されたシステム内で最速のRAMである。

下流に位置するソフトウェアキャッシュにも、いくつかの欠点がある。まず、本来はプログラムが使用すべき RAM を、キャッシュに転用することである。また、大部分のキャッシュはソフトウェアドライバとして動作するため、ディスクのハードウェアを直接制御するプログラムには、キャッシュの存在がわからない。そのため、不整合が発生して、ディスクのデータが破壊されてしまう可能性がある。さらに、ソフトウェアキャッシュの制御や管理はパーソナルコンピュータのメインのマイクロプロセッサが行うため、システム性能が幾分か低下する可能性がある。

最初と最後の欠点は大して問題にはならない。 どのようなキャッシュであれ何らかのメモリは必要 になるが、ソフトウェアキャッシュが使用する本体 のRAMは価格が最も安い。また、システムボー ドに単純にメモリを追加するだけですみ、ハード ウェアコントローラを別のボードとして用意する 必要もない。ソフトウェアが優秀であれば、本章 の後半で説明するとおり、メインメモリの使用に 対する影響も最小限である。

ソフトウェアキャッシュによるマイクロプロセッサのオーバーヘッドは、通常、ユーザーが気付かない程度の軽微なものに過ぎない。まれにソフトウェアキャッシュがバックグラウンドで動作し続けることがあるが、この場合は、システムのマイクロプロセッサのクロックサイクルを消費する。

多くの場合、パーソナルコンピュータがディスクサブシステムへのアクセスを行うときだけ動作する。キャッシュメモリのサイズが適切であれば、マイクロプロセッサのオーバーへッドを上回る速度向上を達成できるはずである。たとえば、キャッシュによるオーバーへッドによって、ディスク操作中のマイクロプロセッサの能力が2%低下したとしても、ディスク操作の速度は50%以上も向上するはずである。この場合は、キャッシュの効果がオーバーへッドを48%分も上回ることになる。

互換性の問題は、ユーティリティソフトウェアと キャッシュドライバソフトウェアの間の、基本的な 相性の悪さに起因するだけに、解決は困難である。 ただし、最近のソフトウェアでこの問題が発生する のは、非常に特殊な若干のソフトウェアだけである。 Disk Manager (On-Track Computer Systems 社製) と SpeedStor (Storage Dimensions 社製) がそれで、これらのソフトウェアは、パーソナル コンピュータで標準規格外のハードディスクを使 用するためのものである。このようなユーティリ ティやキャッシュソフトウェアの最近のバージョン では、ここで紹介した問題点の大部分は解消され ている。障害が発生する可能性があるのは、初期の バージョンだけである。しかしこれ以外にも、(ど のような目的であれ) ハードディスクコントロー ラのレジスタに直接アクセスするソフトウェアで は、キャッシュの無効化やデータの紛失が発生す る場合がある。

そのような場合でも、簡単な解決法がある。問題が発生するディスクユーティリティを使用する間だけは、キャッシュ機能をオフに切り換えるのである。そのようなユーティリティはそれほど頻繁に使用するものではないため(通常は、ファイルの復元やディスクの最適化を行うときにしか使用しない)、キャッシュ機能をオフにしてもそれほど困ることはないだろう。

キャッシュ動作

市販のディスクキャッシュプログラムには、主に3つの点で違いがある。読み取り操作の処理方法、書き込みキャッシュがあるかどうか(ある場合はその方式)、システムメモリの使用法と管理方法で

ある。使用しているパーソナルコンピュータに適 したキャッシュを探し出して正しく機能させるた めには、この3つの点を検討することが重要だ。

■読み取りバッファ

ディスクキャッシュの最も基本的な機能は、読み取り操作のバッファリングである。キャッシュソフトウェアは、システムやソフトウェアがやがて必要とするデータを予測してメモリ上に置いておき、そのデータを要求されたときには、RAM特有の速さでバッファから取り出して提供する。要求されたのがキャッシュ内のデータではなかった場合は、ディスクからデータを取り出すようにアプリケーションに指示が出される。この場合はディスク本来の速度でしか取り出せない。

読み取りキャッシュの動作効率、つまりヒット率は、キャッシュの設計によって決まる。設計では、キャッシュメモリへのデータの格納方法、格納データの更新方法、必要な情報が格納されているかどうかを判断する方法などを考慮する必要がある。

最初の命題は単純である。キャッシュがヒットするためには、キャッシュメモリ内にデータが入っていなければならない。しかし、キャッシュメモリに入れるデータの選択は占いのようなものである。キャッシュ制御プログラムは、システムがやがて必要とするであろうデータを予測しなければならない。キャッシュプログラムでは、通常、単純な方法でこの予測を行っている。アプリケーションからの実際の要求よりも少し多くのデータを、指定されたディスクのトラックや(場合によっては)ファイルから読み取っておくのである。一度読み取ったデータは再度読み取られる可能性が高い、というのがこの方法の根拠になっている。

読み取り要求が何度か行われると、キャッシュメモリはデータで満たされる。そして、制御プログラムは、残すデータと捨てるデータを取捨して、新しいデータを格納するスペースを確保しなければならなくなる。このときに使用するアルゴリズムは、ソフトウェアキャッシュの作成者によって異なる。最も一般的なのは最小使用頻度(LFU)アルゴリズムであり、最長時間未使用(LRU)アル

ゴリズムもよく使用される。最小使用頻度(LFU)とは、使用頻度が最も低いデータから順に捨てていく方法である。これに対して、最長時間未使用(LRU)とは、前回要求されてからの時間が最も長いデータから順に捨てていく方法である。LFUアルゴリズムは複雑であり、システムリソースも多く必要になる。そのため、LRUの方が効率的である場合も多い。ただし、一般的なシステムに両方のアルゴリズムを搭載して比較した場合、双方の速度差はせいぜい8%に過ぎず、優劣は付けられない。

キャッシュ内のデータを管理するためには、残すデータの選択に要する時間が可能な限り短い方がよい。通常、キャッシュプログラムでは、タグを割り当てて、メモリ上のデータとディスク上のデータとを関連づけている。ただし、各製品が使用するキャッシュアルゴリズムと同様で、この情報の取り扱い方についても、詳細については各社の企業秘密になっている。キャッシュ製品のメーカーには、自社の技術が黒魔術か何かであるかのように秘匿する傾向が強い。

各社が多種多様な黒魔術を駆使しているにもかかわらず、実際のところ、市販のソフトウェアディスクキャッシュ製品の読み取り速度には大した差はない。ハードディスクからの読み取りに限定して比較した場合、パーソナルコンピュータやオペレーティングシステムに付属している無料のキャッシュと市販の有料キャッシュ製品のいずれを使用しても、まず、速度差に気付くことはない。

書き込み操作の速度向上は、読み取り操作の場合とはまったく別の問題である。キャッシュソフトの中には(特に、無料のものには)、書き込み操作のスピードアップをわざと行わないものがある。これらのキャッシュソフトでは、使用中のソフトウェアが記憶装置に対してデータの書き込みや変更を行う際には、時間的な遅延が生じることを覚悟の上でディスクへの直接的なアクセスを行う。これは、速度よりも安全性の方が重要であるという考え方による。

■書き込みバッファ

この保守的な方針の根底にあるのは、書き込み

操作のキャッシュ処理には危険が伴うという考え 方である。この危険性を解消するためには、長期 にわたる開発努力が必要で、これは結果的に、書 き込みバッファ付きのキャッシュ機構の製造コス トを押し上げることになる。

書き込みキャッシュの最大の問題点は、遅延書き込みにある。すなわち、事前に設定された間またはシステムのビジー状態が解消されるまでの間、ディスクに書き込むべきデータをキャッシュが取り込むのである。キャッシュに取り込んだ後であれば、システムは、速度の低下を気にすることなくディスクにデータを書き込むことができる。加えて、書き込みキャッシュでは、ドライブのヘッドの動きが最少になるようにデータを並べ直すこともできる。また、特定のディスクセクタに対して連続的に何回もの変更を行う場合は、最終的な変更内容だけをディスクに書き込むことによって、書き込み操作の効率を向上させることができる。

キャッシュ機構が情報を集めてメモリ上に保管している間、システムには、ディスクへの書き込みがRAM並みの速度で行われているように見える。したがって、Save ボタンを押した瞬間にユーザーに制御が戻されるため、すぐにほかの作業を始めることができる。

ただし、この高速性と引き替えに、データは危 険にさらされることになる。データがディスクに 書き込まれたとソフトウェアが考える時間と、実 際に書き込まれた時間の間に差があるため、この 間に事故や不注意によって電源トラブルなどが発 生すると大変なことになる。たとえば、重要なファ イルをディスクに書き込んだつもりで、実際には 書き込まれていないのに電源をオフにしてしまう と、書き込みキャッシュに格納されているデータは その瞬間に消えてしまう。また、損失はデータの 消失だけにとどまらない。一部のオペレーティン グシステムやオペレーティング環境は、動作中に 電源が遮断された場合には自動的に自己を復元す るように設計されているが、この場合、書き込み キャッシュソフトウェアが速度向上のためにデータ の本来の順番を変更していたとしても、オペレー ティングシステムは元通りの順番に並んでいると 考える。結果として、オペレーティングシステム による自己復元と再構築の作業が正常に動作しない可能性が出てくるのだ。最悪の場合には、不適切な復元が行われ、致命的な事態に至る。

このような問題を避けるために、ディスクキャッ シュの多くは書き込みキャッシュをまったく行わ ないか、または遅延書き込みテクニックを採用し ていない。遅延書き込み機能を持つキャッシュで も、通常はオプション機能として組み込んであり、 オフにできるようになっている。書き込みの最大 遅延時間を設定できるものもある。遅延が少なく なれば、データの危険度も減るからである(ただ し、速度の向上は望めなくなる)。一部の書き込み キャッシュプログラムには、ウォームブートコマ ンド(Ctrl と Alt と Del の 3 つのキーを同時に押 す操作)を受け付ける機能もある。このコマンド を受け付けたキャッシュプログラムは、キャッシュ メモリ内の全データを即座にディスクに書き込み、 メモリ内のデータを消去してから、リブートの実 行を許可する。なお、この機能もコールドブート (電源オフを伴うブート)では役に立たない。

遅延書き込みを使用しない別の書き込みキャッシュ技術も存在する。この技術では、ディスクドライブの操作をほかの操作と同時に行うことによって、顕著な速度向上を図っている。この技術の考え方は単純である。キャッシュは、アプリケーションからデータを受け取ると、即座にディスクへの書き込みを開始する。ただし、ドライブのインターフェイスやドライブ機構を通じてデータを送信する間もシステムの制御を保持するのではなく、データをキャッシュメモリに書き込んだら即座に制御をアプリケーションに戻すのである。したがって、その後、パーソナルコンピュータでほかの操作を行っている間も、しばらくはディスクへの書き込みが続けられる。

このような並行書き込み方式の場合でも、リスクがゼロになるわけではない。ディスクへの書き込みが終了し、制御がアプリケーションに戻った直後にパーソナルコンピュータの電源をオフにすると、データの一部が消失してしまう。その時点では、全データがディスクへ出力されたわけではないからである。ただし、遅延書き込みシステムの場合のように危険な時間の長さが予測できない

わけではない。ドライブ動作インジケータが消灯 した時点で、電源オフやリブートは可能になる。

並行書き込み方式によって短縮される書き込み時間は、優れた設計のキャッシュプログラムで遅延書き込みを行った場合と同等である。どちらのテクニックでも、キャッシュに情報を格納するのに必要な時間は同じであり、また、キャッシュへの書き込みが完了した時点で制御が戻される点も等しいからである。遅延書き込みでは、実際のディスクへの書き込みに要する時間は最少になるはずだが、ユーザーに判別できるほどの差にはならない。

■メモリの使用法

メモリは、ソフトウェアキャッシュの間で大きく 異なる点の1つである。現在、市販の優れたキャッシュ製品では、コンベンショナルメモリ (DOS メモリ)、EMS メモリ、XMS メモリといったパーソナルコンピュータ用の主なメモリはどれでも使用することができる。しかし、ほかのシステムリソースとの間で、キャッシュに必要なメモリをどれだけ効率的に共用できるかという点については、製品間にかなりの違いが見られる。

ソフトウェアによるパーソナルコンピュータ用のスピードアップ技術は、ほぼすべてがメモリの使用を前提としている。中でも、キャッシュとプリントスプーラには大量の RAM が必要になる。メモリが多ければ多いほど、大幅な高速化が可能になるからである。しかし、これらの機能に割り当てるメモリが自由に調達できるわけではない以上、ほかのリソースがプログラムの実行用に確保できるメモリ量が減ることは避けられない。つまり、ディスクキャッシュに割り当てるメモリを 1Mバイト増やせば、たとえば、Windows で動作するアプリケーションや Windows 自体に利用可能なメモリが 1M バイト減ることになるのである。

ユーザーはそれぞれ、多大な時間を割いて、パーソナルコンピュータの様々な機能にメモリを割り当てる。その結果、コンピュータのセットアップ内容は千差万別である。キャッシュに大量のメモリを割り当てるユーザーもいれば、プログラムの実行用に大部分を残すユーザーもいる。メモリの割り当てには、ソフトウェアの要件を慎重に考慮

することが重要である。たとえばプリントスプーラであれば、大きなプリントジョブを処理できるだけのメモリを割り当てておけなければ、実効は期待できない。メモリが少ないとスプーラがすぐに一杯になってしまい、印刷の終了を延々と待たされるはめになりかねない。この場合、スプーラに割り当てたメモリについては、アプリケーションからの利用は不可能である。

最近のキャッシュプログラムでは、メモリの動的な割り当てが主流になってきている。つまり、必要なときにだけメモリの割り当てを受けるのである(つまり、ほかの機能との間でメモリを共有する)。

メモリの共有機能については、キャッシュ間にかなりの差が見られる。共有を行わないキャッシュプログラムも多い。その場合は、1M バイトあたり30~50 ドルを支払って RAM を増設し、キャッシュ用のメモとして割り当てることになるが、これはそれほど大きな出費にはならない。一部のキャッシュプログラムでは、キャッシュだけでなく、RAMディスクやプリントスプーラなどの機能にもメモリを動的に割り当てることができる。このようなキャッシュプログラムでは、搭載している RAMの量が少ない場合でも、メモリ消費の多い様々な高速化機能からそれなりの速度向上を引き出すことができる。

キャッシュの使用法

システムに組み込んだソフトウェアキャッシュ には、様々な使用法が考えられる。まず、書き込 みキャッシュとしても活用するのか、それとも読 み取り操作のスピードアップだけに的を絞るのか を決める必要がある。判断材料は、パーソナルコ ンピュータでの作業状況と、リスクに対する考え 方の2点である。

パーソナルコンピュータの使用頻度が低い場合、システムの管理を面倒だと感じる場合、システムのリプートや電源オフの前にキャッシュ内容をフラッシュするのを忘れてしまいそうな場合は、書き込みキャッシュは行わない方が無難である。キャッシュ機構がディスクへの書き込みを完了するのを待たずに、ついうっかりと電源スイッチを切ってし

まい、キャッシュを呪うはめになる可能性がある。 注意深い性格のユーザーにとっても、電源トラブルやソフトウェアのクラッシュなど、書き込みキャッシュにはリスクが伴う。実際には、このようなリスクが現実になる可能性は小さい。ここに示したような原因で書き込みキャッシュ内のデータを失うことが、ほかの原因で情報を失うこと以上に起こりそうには思われない。しかし、わずかであるとしても、非常に危険な時間が存在することは事実である。したがって、何らかの書き込みキャッシュ機能を備えた製品を使用するのは、ディスクキャッシュによって最大限のスピードアップを図りたい場合に限るとよい。その場合、遅延書き込み方式と並行書き込み方式の選択は、リスクに対する各人の判断によって決まる。

製品を選択したら、インストールを行わなければならない。その際には、システムの RAM からどれだけをキャッシュに割り当てるかという、困難な決断を迫られることになる。基本的には、キャッシュに割り当てるメモリが多いほど、ディスクドライブの速度を向上させることができる。キャッシュ自体の動作のオーバーヘッドを考えた場合、64K バイトより小さなキャッシュでは効果は期待できない。キャッシュソフトの販売元の推奨値は最低でも256~384K バイトであり、できれば512K バイト~1M バイトが望ましい。後者のメモリ容量の場合には、通常のディスク使用状況でのキャッシュのヒット率は90%近くになると思われる。

キャッシュのもう1つの問題は、使用するメモリの種類である。基本的な選択肢は DOS メモリ、EMS メモリ、XMS メモリの3種類であるが、DOS メモリは望ましくない。DOS メモリの場合は、キャッシュに使用した分だけ、アプリケーションが使用できるメモリ量が減ることになる。また、DOS メモリでは大容量のキャッシュは構築できない。DOS の規定上、それだけの量の DOS メモリは存在しないからである。

8088 プロセッサを使用するコンピュータ(XT クラス)では、EMS メモリがベストである。キャッシュ用の EMS メモリは、拡張メモリボードの形で装着する。EMS メモリでは、実は、メモリボートによるソフトウェアキャッシュと、ハードウェアタイプのディスクキャッシュコントローラボードとは価格がほぼ等しい。XT システムはもともと速度が遅く、バスに関するボトルネックは存在しないため、いずれのボードを選択しても問題はない。

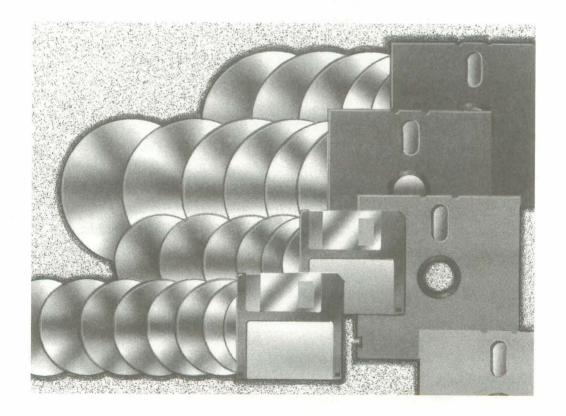
286 プロセッサを使用して 10 MHz 以下で動作するコンピュータ (AT クラス)では、EMS メモリと XMS メモリが候補となる。通常、これらのメモリは拡張スロットに装着する。いずれのメモリを使用しても効果はほぼ同等であるため、選択に悩む必要はない。なお、ハードウェアキャッシュにはソフトウェア上のオーバーヘッドが存在しないため、ソフトウェアキャッシュよりも高速である。ただし、バスのボトルネックに関しては両者に差はない。

システムのクロック速度が 10 MHz を超え、バスのクロック速度を上回るようになると、ハードウェアキャッシュよりも、システムボード上のメモリをキャッシュ用に使用するソフトウェアキャッシュが有利になってくる。同じソフトウェアキャッシュでも、拡張スロットに装着したメモリボード上のメモリを利用するタイプは、バスのボトルネックの影響を受けるため、ハードウェアキャッシュと変わりない。

このレベルの高速システムになると、XMSメモリによるソフトウェアキャッシュが最適の選択になってくる。システムボード上の高速 RAM を使用して EMSメモリをエミュレートする場合は、特別な機能を持たせていない通常の XMSメモリを超えることはできない。EMSメモリではシステム管理上のオーバーヘッドが負担になるが、XMSメモリにはオーバーヘッドは発生しないからである。

第20章

フロッピーディスク



フロッピーディスクは、パーソナルコンピュータのデータ交換媒体として最も代表的なものであり、また、バックアップシステムとしても、最も広く使用されている。若干のノートパソコンを除けば、パーソナルコンピュータはいずれもフロッピーディスクドライブを最低1台は標準装備している。フロッピーディスクには直径2.5インチから8インチのものまで、記憶容量も160Kバイトから2.88Mバイトのものまであり、それに対応してフロッピーディスクドライブも様々なサイズと容量のものがあるが、動作方法は基本的にすべて同じである。

パーソナルコンピュータの一号機が動作を開始して以来、フロッピーディスクは恵みであるとともに呪いでもあった。子供や夫婦や政府について昔から言われてきた「いればいたで一緒にやってゆけないが、いなければいないでやってゆけない」という諺がまさにフロッピーディスクにもあてはまる。

確かに、フロッピーディスクなしにはやっていけない。フロッピーディスクは情報の交換、データの記憶、ファイルの保管といった用途にコンピュータが使用する共通手段となっているからである。また、フロッピーディスクは取り扱いが便利である。3.5 インチのフロッピーディスクなら5つや6つシャツのポケットに押し込むこともできる。使い方も簡単で、ディスクをスロットに入れ、ボタンを押すか、ドアを閉めると、オンラインでさらに1M バイト程度の記憶容量が増設されたことになるのだ。

しかし、フロッピーディスクには人をいらいらさせ、欲求不満に陥れる要素があり、ほとんどの人にとってはうまくやってゆくのがなかなか大変なところがある。まず、スピードが遅く、容量が少ない点があげられる。どんな容量のフロッピーディスクでも、いざ使ってみると、必要な容量より数 K バイト足りないのが常である。さらに、フロッピーディスクはいろいろと困難な問題を抱え込んでいる。ディスクに何か問題があっても何の兆候も示さないため、数ヶ月経ってディスクに託していた大事なデータがまったく読めなくなってしまうことがよくある。また、たくさんの規格があるため、ディスクとドライブ、ドライブとコントローラ、そしてそれらと DOS が正しい組み合わせになっているかに配慮しなければならない。ソフトの箱に入っているディスクにぴったりと適合するドライブを持ち合わせていたり、次々と増えていくフロッピーディスクの規格に適合するあらゆるドライブを揃えておく余裕がある人はいないだろう。実際、フロッピーは税金のようなもので、誰もがつきあってゆかねばならないが、それが好きだという人はまずいないのである。

フロッピーディスク自身はシステムの一部にしか過ぎない。論理的には、釘は、ハンマーとそのハンマーを打ちつける腕がなければ何の役にもたたないのと同じように、フロッピーディスクもシステムを構成するほかの部分が揃っていなければ何の価値もない。このシステムの構成要素としては、メディアと呼ばれるフロッピーディスクのほかに、フロッピーディスクドライブ機構、フロッピーディスクドライブコントローラ、ディスクオペレーティングシステムソフトウェアが必要である。これら4つは、このシステムを正しく、そして有効に動作させるために必要不可欠なものである。

20.1 メディア

フロッピーディスクには記録メディアとしてプ ラス面がいくつか備わっている。ディスクの表面 が平面であるため、ランダムアクセスの際に目的 の位置に容易に到達することができる。ハードディ スクと同様に、データはトラックとセクタに配列 される。ディスクは読み書きヘッドの下でセクタ を回転させ、読み書きヘッドはディスク面上を放 射線状に移動して、トラックを判別する。しかし、 フロッピーディスクの特質として何よりも重要な のは、脱着可能なメディアであるという点だ。こ のおかげで、何十枚ものフロッピーを入れ代わり ドライブに挿入して、記憶容量を拡大することが できるのである。ドライブに挿入すればオンライ ン記憶装置となり、また、オフラインの状態で、 いくらでも必要なだけ保存しておくことも可能な のである。

フロッピーディスクという用語は、物の属性をそのまま名前にしてしまう今の時代に数多く見られる、単純明解な用語の1つである。その外ケースの中には、外見上は平板なレコードのような"フロッピー"、すなわち、"ぺらぺらの"ディスクが入っている。ディスクは、こねた粉からクッキーを切り取るように、幅の広いロール状になった磁気メディアを打ち抜いて製造する。

幅の広いロールは異常発達したオーディオテープやビデオテープのようなものに見えるが、これは偶然の一致ではない。ディスクの構造は録音用テープと同じで、ポリエステルの基材を磁性酸化物でくるんだものである。ただし、テープとは異なり、フロッピーディスクは両面が磁性体でコートされており、その基材はテープよりも薄くて、およそ3ミル(3/1000インチ)程度である。

片面ディスク

フロッピーディスクは両面が酸化物で被覆されているにもかかわらず、多くは片面ディスクとして販売されている。これは、片面しか被覆されていないということではなく、メーカーが検査を片

面に限定しているということである。片面ディスクは、メーカーによって一面だけが記録用として保証されているわけだ。この場合、片面フロッピーディスクドライブで実際に使用されるのは、慣例としてディスクの底面となっている。

フロッピーディスクの検査は、製造過程で最も 費用がかかる作業である。両面をテストすると時間が長くかかり、不良品のディスクも必然的に多くなる。両面になると、問題が生じる余地がそれだけ大きくなるというわけである。フロッピーディスクは片面でも両面でも、実は両方ともまったく同じ分量の磁性体を材料として製造されているのである。

メーカーが通常行っている検査の代わりに、(フロッピーディスクの初期化の際に)自分自身で検査を行い、フロッピーディスク用の支出を節約している人も多い。このような人たちは、買ってきた片面ディスクに、自分で両面のフォーマットを行っている。これは、不良品の検出の費用(手間)がメーカーからユーザーに移動したということで、両面ディスクとしては不良品だったとしても、たとえばデータファイルのコピーを友人に渡したいというだけであれば、用は足りる。

これに対し、ユーザーが自分のディスクドライブで実行できる検査と比べれば、もっと厳しい検査を行っているとディスクメーカーは主張するだろう。それはそれで正しい。だが、ユーザーのフロッピーディスクの用途は、工場の検査のように完全な(あるいはほぼ完全な)確実性が必要とされるほど重大でない場合もあるのだ。

高密度ディスク

磁気メディアにも様々なものがある。ディスクの磁気コーティングについては、メーカーそれぞれに非公開の独自規格がある。違いの1つは、データを実際に記憶する磁気粒子の大きさである。いわゆる高密度ディスクは、極細粒の磁性体を使った磁気メディアを使用しているため、小さいスペー

スに多くの情報を詰め込むことができる。このフロッピーディスクは、通常密度のフロッピーに比べると保磁力が大きい。

フロッピーディスクドライブはすべて**倍密**度記録を行う MFM 記録方式を採用している。倍密度という用語を容量が小さい 5.25 インチのフロッピーディスクに使用しているメーカーも多いが、この意味でいえば、通常ディスクも高密度ディスクも実際は倍密度なのである。通常密度のフロッピーと高密度フロッピーの中間の容量 (5.25 インチディスクで 720K バイト) のクォッドデンシティと呼ばれるフロッピーを使用するコンピュータもあったが、このフォーマットは IBM や DOS 規格としては採用されることはなかった。

通常密度のディスク、特に 5.25 インチディスク を高密度フロッピーのようにフォーマットできる ことがよくある。というのは、このサイズのフロッ ピーディスクドライブはほとんどがメディアの違 いを識別できないからである。ときにはエラーが 増えることもあるが、通常密度のフロッピーディ スクの多くは高密度でもフォーマットできるもの なのだ。ただ、時間の経過とともに、保磁力の違 いの影響が現われてくる。異なる形式に初期化し たディスクは、古くなってくると正しいフォーマッ トで初期化したディスクに比べてかなり早くリー ドエラーを起こすようになる。安全と思っていた 記録は不確実なものとなってしまう。嫌になるほ ど多量にファイルを失えば(1枚で十分に違いない が)、このような近視眼的な節約を二度と試そう とは思わなくであろう。

超高密度ディスク

最新のフロッピーディスクになると、ディスクの記憶容量はこれまでの最高記録をさらに更新して、1 枚で 4M バイトにまで増大している。これは標準 DOS フォーマットでは 2.88M バイトとなる。こうした超高密度ディスクは、その前の通常密度や高密度ディスクとサイズや形は同じだが、高密度ディスクよりもかなり高い保磁力を持っている、まったく異なる磁性体(バリウムフェライト)を使用している。また、磁性体は、ほかのフロッピーディスクのようにディスク面に対して横

向きに配列されているのではなく、垂直に、つまり、ディスク面に対して直角に立てて配列されている。このように超高密度ディスクはほかのディスクとは非常に異なっているため、新しいドライブ機構が必要である。通常密度ディスクおよび高密度ディスクは超高密度記録用としては使用することはできない(逆に、超高密度ドライブは前のディスクと互換性があり、それぞれの定格容量で使用できる)。

ディスクのサイズ

フロッピーディスクは、最長 12 インチから最小2 インチまでのものが作られており、これらの間には数え切れないほど様々なサイズがある。その中でも、パーソナルコンピュータの世界で認知されている(認知の程度は異なるが)のは、直径8 インチ、5.25 インチ、3.5 インチの3 種類のサイズのものだけである。また、直径2.5 インチのディスクが、あるノートパソコンで短期間ながら使用されていたこともある。X インチという数字は、磁性体がコートされているディスクの直径である。ディスクはすべて表面積全体を覆うプラスチック製のシェルに収められている。

最初に登場したフロッピーはサイズが最も大きなタイプである。1971年に初めて登場した8インチフロッピーディスクは、IBM PCの一号機誕生以前の小型コンピュータシステムにおける標準となった。この大型フロッピーには、購入するだけの価値のある多くの特長があった。少なくとも同量の情報を保管できる用紙と比べれば、形は小さくて使いやすく、標準化されている。何よりも、製造費用が安く、信頼性が高い。当時のコンピュータマニアの立場から見ると、このディスクはランダムアクセス能力が優れている点で、少なくともその頃は唯一の交換可能なメディアであったカセットテープと比べた場合に、まさに神の賜物であった。

IBM が最初の PC を発売するまでに、ほかのコンピュータメーカーは 1976 年に登場した 5.25 インチフロッピーへと移行しており、IBM もその趨勢に追随してこのサイズを採用した。前の 8 インチサイズのディスクよりも小さいことから、5.25 インチフロッピーをディスケットと呼ぶ人たちも

いた。ディスケットという呼び名は、その後のもっと小さいサイズのディスクにまで使用された。

PC の量産が始まると、コンピュータメーカーは小型サイズのディスクに各社独自のデータ記憶フォーマット(および容量)を導入し始め、一時は50種類以上ものデータフォーマットが各メーカーにより使用されていたこともあった。しかし、IBMの名前が持つ威光と PC 発売の成功の結果、IBMフォーマットが初めて5.25 インチフロッピーディスクの真の標準となった。

5.25 インチフロッピーの一番の長所はその小さなサイズにある。実際、こうした小型化のおかげで、デスクトップタイプのパーソナルコンピュータも実現可能になったのである。ただし、サイズが小さいことのマイナス面として、容量もそれだけ小さいということがある。8 インチディスクの容量が M バイト単位であるのに対し、IBM 標準の最初の 5.25 インチフロッピーディスクの容量はわずか 160K バイトにすぎなかった。

PS/2シリーズが登場する以前から、ラップトップタイプのポータブルコンピュータによって、より小さなディスクの必要性が業界に提起されていた。その結果、5.25インチよりさらに小さな3.5インチフロッピーディスクがIBMの製品ライン全体の標準となった。3.5インチフロッピーディスクは小型である以外にも、酸化物の改良と精密設計によって記憶容量が大きくなり、強いプラスチック製シェルにより頑丈さが増したことも大きな長所である。

5.25インチフロッピー

5.25 インチディスクはサンドイッチのような形をしている。パンはシェル(ジャケット)で、間に挟まれたボローニャソーセージがディスクである。その名のとおり、このディスクは直径が5.25 インチあり、ディスクを挟んでいるジャケットは5.5 インチ四方の大きさになっている。5.25 インチフロッピーディスクの構造を図20-1 に示す。

ジャケットは丈夫で弾力性のあるプラスチックを2つに折りたたんだもので、超音波を使って接合されている。ジャケット内側には不織布が1枚入っているが、これはディスクが回転する際にジャケットとの間に生じる摩擦を減少させるとともに、ディスクからよごれを取り去るライナーの役目を果たしている。

ジャケットの中心には大きな穴があり、ディスクドライブに挿入するとドライブハブがここにぴったりはまる。この穴の部分でドライブ機構がしっかりとディスクを固定し、スリップすることなく回転させる。ジャケットの中のディスクには縦横ともに十分な遊びがあるため、中心を正確にハブに合わせることができる。

ハブクランプは円錐台のような形をしている。 直径の小さい方からディスクのハブホールに入り、 最終的にハブクランプとディスクのハブホールの 大きさがぴったり一致する地点で止まり、この位 置でディスクが固定される。クランプは、ハブホー ル周辺にあるディスクの小さな円(約1/16イン チ)を押さえつけて、ディスクをハブにしっかりと 固定している。

ディスクのハブホールが最も摩耗、破損しやすい部分である。位置合わせするときにここがゆがんで壊れたり、ハブクランプで押さえつける前にディスクが回転すると、摩耗してしまうことがある。損傷を防ぐために、保護用のハブリングを取りつけて、この要の中心部を強化しているディスクも多い。両面にハブリングが取りつけてあるディスクもあるが、それ以外は1つしか使用しない(その場合、裏面の方が摩耗が大きいため、裏面に取りつけてあるはずである)。また、ハブリングがまったくないものもある。主として高密度フロッピーがそうだが、これは、高密度記録の場合には厳格な誤差しか許容されないため、ディスク上で位置がずれやすいハブリングは取り付けが省略されたというわけである。

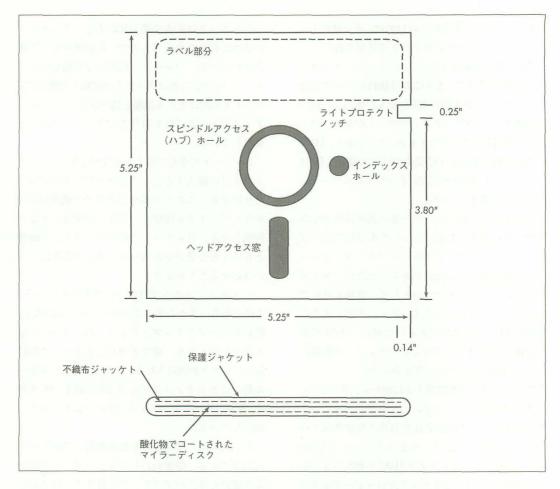


図 20-1 5.25 インチフロッピーディスクの構造

インデックスホール

ジャケットにはハブホール近くに小さな穴があるが、これはディスク内のデータ位置を機械的に検出するためのものである。5.25 インチディスクをジャケットに入れたまま回転させてみると(磁気面に触れないようにして、2本の指をハブホールに差し込んみ、その指を広げてディスクを固定し回転させる)、ディスクの小さい穴がジャケットの小さい穴と重なり合う位置にあることがわかる。これがインデックスホールである。

インデックスホールは、光をディスク面に当て てこの穴を検出すれば、放ディスク面上の位置を 正確に確定できるというアイデアが基本になって いる。穴がディスクが回転している位置を示す絶 対的な目印となるわけだ。

穴が数個ついているディスクもあり、各セクタの 先頭を示すのにこれらの穴を使用していたフロッ ピーディスクドライブもあった。この印は、ディ スクというハードウェアに固定された絶対的な位 置を表わすことから、このようなタイプのフロッ ピーディスクはハードセクタ式と呼ばれていた。

普通のパーソナルコンピュータに使われているフロッピーディスクドライブでは、この穴は古き設計の遺産に過ぎず、現在はどのような目的にも使用されていない。今日のパーソナルコンピュータのフロッピーディスクドライブでは、磁気によりセクタを区分けしている。各セクタの位置はソフトウェア、つまり、ドライブを制御するオペレー

ティングシステムにより変更が可能であり、このようなフロッピーはソフトセクタ式と呼ばれている。 ソフトセクタ方式のディスクドライブはハードセクタ方式とソフトセクタ方式のいずれのディスクも使用することができる。逆に、ハードセクタ方式のシステムではソフトセクタ方式のディスクを使用することはできない。デスクトップコンピュータの暗黒時代に置き去りにされたような、このシステムを搭載したマシンを持っている人は、それ用のフロッピーを買いだめしておこうと考えるかもしれないが、供給先を見つけるのは難しい。

セクタ数

ソフトセクタ式のフロッピーディスクの場合、 実際のデータフォーマットは、使用するソフトの 制御により異なる。IBM DOS 1.0 では、フロッ ピーディスクのフォーマットは1種類しかなかっ た。このフォーマットでは、5.25 インチフロッピー ディスクの片面は40トラックになり、各トラック は8セクタに区分けされる。全容量は160Kバイトだったが、両面ディスクドライブとDOSの新 しいバージョンができると、ディスクの容量は倍 増した。

DOS 2.0 ではフォーマットの種類が追加されている。オペレーティングシステムが修正され、40トラックの1トラックにつき9セクタとなった。このバージョンの DOS で行ったフォーマットは、前のバージョンのフォーマットとも互換性があり、両面ドライブであれば、片面でも両面でも、また、8セクタでも9セクタでも、ディスクの読み取り、書き込み、フォーマットができるようにになっていた。

AT マシンおよび DOS 3.0 と共に発売された高 密度ディスクでは、データの密度をトラックとセクタの両方を増加させることで記憶領域を拡大している。高密度フロッピーディスクとそれに対応したドライブを使用するこの新しい DOS バージョンでは、ディスク各面が 80 トラック、15 セクタとなっている。

超高密度磁気メディアは、今までのところ 5.25 インチフロッピーには使用されていない。

高密度ディスクの非互換性

トラック数の増加を実現するためには、高密度フロッピーディスクドライブの読み書きへッドをもっと細くする必要があった。そして、この変更の結果、倍密度ディスクとの間に書き込みとフォーマットにおける互換性が失われることになった。高密度ドライブは IBM の5.25 インチフロッピーディスクのフォーマットを読み書きし、ディスクをフォーマットすることができるが、そのドライブで作成したディスクは恐らく倍密度ドライブでは読むことができない。幅の細いヘッドでは、トラック全体に磁気データを埋めることができないため、ヘッドの範囲外に磁気フィールドが取り残され、倍密度の幅の広いヘッドではうまく読み取ることができないのである(図 20-2 参照)。

一般的にいえば、倍密度ディスクを倍密度ドライブでフォーマットした場合、高密度ドライブでそのディスクにデータを記憶させても、倍密度ドライブで読み取ることができる。しかし、倍密度ドライブでディスクに何かを書き込み、今度は高密度ドライブを使って、その上に書き込みを行うと、そのディスクは倍密度ドライブでは多分読み取ることができなくなるだろう(高密度ドライブなら問題なく読み取れるはずだ)。

ヘッドアクセス穴

ディスクのジャケット両面に大きな卵形もしくは細長い(競技場のトラックを引き延ばしたような形)穴が開いているが、これは、フロッピーディスクドライブの読み書きヘッドがディスク面に接触できるようにあけられたものである。ヘッドアクセス穴という名前のついたこの穴に関しては守るべきルールが2つある。1つは、ディスクをドライブに挿入する際には、この穴のある方から先に入れるということ、そして、この穴によってディスク面が露出しているが、絶対に触ってはならないということである。この2つのルールは、フロッピーディスクドライブを正しく動作させるために知っておくべき事項の1つである。

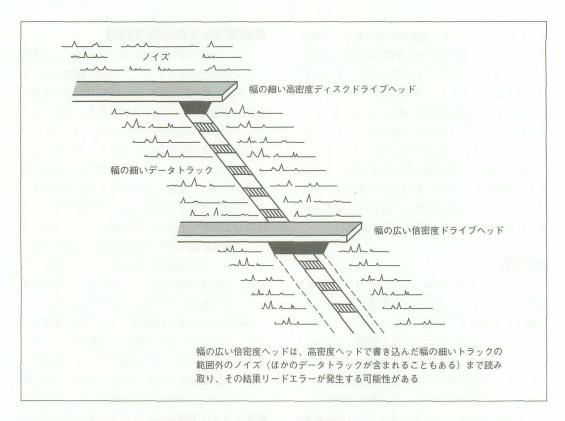


図 20-2 倍密度フロッピーディスクヘッドと高密度フロッピーディスクヘッド

ライトプロテクトノッチ

ディスクを挟んでいるジャケットは全体としては四角形だが、一ヶ所だけ切れ目が入っている。ライトプロテクトノッチと呼ばれるこの切れ目が、ディスクドライブ内のスイッチによって感知されると、そのディスクは書き込み動作が可能で、読み書きやフォーマットをすることができることになる。これに対し、ノッチがライトプロテクトタブかテープで覆われている場合は、ディスクドライブセンサが切れ目を感知しないため、そのディスクはライトプロテクトされているということがドライブからコンピュータに通知され、ディスクに書き込みをしたり、フォーマットすることはできなくなる。

8インチディスクにもライトプロテクトノッチが付いているが、ノッチの働きはちょうどこれと逆になる。ノッチが検出されなければ、そのディスクは書き込みが可能ということになり、逆に、ノッチから覆いを取るとライトプロテクトされる。

5.25 インチディスクが採用している機構には長所がいくつかある。ディスクを上下逆さに挿入した場合、ライトプロテクトノッチの位置が変わるため、ドライブはノッチを検出できない。したがって、間違ってディスクを上下逆さにしても書き込みはできず、貴重なデータを破壊せずにすむ。また、初めからノッチのない特殊なディスクを作って、これでソフトウェアの配布用コピーを作れば(ディスク複写装置はノッチがあるかないかの規則に従う必要がないため、書き込みを行える)、間違って消されたり、変更されたりするのを防ぐことができる。

ノッチを使ってかけた物理的なライトプロテクトは、ソフトウェアで取り消すことはできない。ライトプロテクトエラーの後で、"Abort、Retry、Ignore?"というメッセージ(DOSの新バージョンでは、"Abort、Retry、Fail?")が表示されたとき、Ignore(無視)という命令をシステムに与えても、プロテクトを解除することはできない。この

場合は、ライトプロテクトタブを取り除くか、慎 重にディスクジャケットを切り取り、自分でノッ チを作ることでプロテクトを解除するしかない。

スリリングな人生を送る主義の人は、ディスクドライブ内のライトプロテクトノッチを感知するスイッチにつながる線を切ってしまうこともあるかもしれないが、これは大きな間違いだ。こういう人は、プログラムやデータファイルのたった1つしかないコピーを破壊してしまってから、初めてハードウェアによるライトプロテクト機構がどんなに貴重であるかに気付くことだろう。

フリッピーディスク

かつて、フロッピーディスクにフリッピーディスクと呼ばれる変わり種が1つあった。これは、ディスクの両面が使えるように、片面ディスク用ドライブで裏返して(フリップオーバ)使用することができるディスクである。ディスクの裏返しを防止できる手段はライトプロテクトノッチだけだったため、技術革新に燃える企業は、ディスクジャケットの裏側にもう1つ切り込みを入れるという方法で、どちらの面を上にしてもフリッピーをフロッピードライブに差し込めるようにしたのである。

フリッピーディスクの便利さはパーソナルコンピュータ市場では限定されている。最初のPCの第一世代のものには片面ディスク用ドライブが搭載されていたということはその理由ではない。設計に致命的な欠陥があるのだ。つまり、ディスクが裏返しにされたとき、ディスクは反対方向に回転してしまうということである。ディスクが反対に回転すると、ディスクジャケット内のライナーのけばを反対方向に曲げてしまい、そこにたまったほこりを払い立てて、ディスク面上に再びそのほこりを撒き散らすことになる。これによって、ディスク面に施された磁気コーティングの寿命が大幅に短縮されてしまうのだ。

一時期、一部のソフトウェアがフリッピーで流通したことがあった。片面に IBM PC 用のデータを、反対の面には同じデータが Apple II のフォーマットで収めてあった。 IBM マシンは Apple のディスクを認識しない(逆も同じ)ため、コンピュー

タ側はこのフリッピーディスクを片面ディスクと 見なす。したがって、IBM と Apple の規格に適 合した 2 台のコンピュータシステムを持っている 人でなければ、このフリッピーを裏返してみよう などとはしない。裏返してみたい人は、事前にコ ピーを作ってフリッピーディスクのデータを残し ておいてからにしたほうがいいだろう。

3.5インチフロッピー

ポータブルコンピュータや Apple の Macintosh のような小型機の登場により、さらに小さなフロッピーディスクの必要性が高まった。直径 2 インチ分小さくしたミニチュア版の 5.25 インチシステムを始めとして、不成功に終わった様々な試みがなされた後、最終的には Sony が最初に発表した、3.5 インチシステムがほぼ全世界的に受け入れられることになった。3.5 インチディスクはシャツのポケットにちょうど入る大きさで、使いやすく、しかも、投げ飛ばしてもなんともないほど丈夫で、信頼性が高いという点が長所である。3.5 インチディスクの構造を図 20-3 に示す。

頑丈なジャケット

3.5 インチシステムは、長らく使われてきた 5.25 インチの設計にいくつかの改良を施したものであ る。最も顕著な改良点はその堅固なジャケットで、 頑丈でありながら、若干の弾力性も備わっている。 5.25 インチディスクでは、ディスクのラベルにボー ルペンで書き込んではいけないとされているが、 3.5 インチディスクの場合は堅固なジャケットで保 護されているため、このような 5.25 インチでの禁 止行為も行える。サイズの大きなディスクでは露 出しているヘッドアクセス用の領域が、ほこりや ごみや指紋に対して無防備だったが、3.5インチの 設計では傷つきやすいヘッドアクセス部分を、スプ リング式の金属製スライディングシールド(シャッ タ)で覆っている。このシャッタは、ディスクをドラ イブに挿入したときのみ自動的に開くようになっ ている。このような保護が配慮されているため、 3.5 インチディスクは、スリーブやサックで保護す る必要がない。

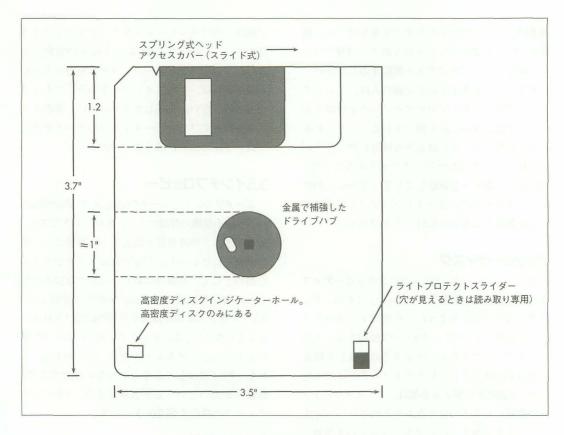


図 20-3 3.5 インチフロッピーディスク

挿入キー

5.25 インチディスクとは異なり、3.5 インチディスクでは間違った装着を防止する設計になっている。ディスクのジャケットは角が1つ切り取ってあり、正しい向きで挿入されたときのみ、ディスクがきちんとドライブに収まるようになっている。

ライトプロテクション

3.5 インチディスクの設計では、ライトプロテクトノッチやタブの代わりに、穴とプラスチックのスライダーを使用している。スライターが穴をふさぐと、そのディスクは読み取り、書き込み、フォーマットを行うことができ、逆に、スライダーを元の位置に戻して穴が見えるようにすると(あるいは、ソフトウェアの配布用ディスクに多く用いられているように、スライダーを完全に取ってしまう)、ディスクは書き込み禁止となる。

トラック本数の増加

3.5 インチディスクの記憶容量は、小が大にな りうることの証明となっている。5.25インチディ スクに比べると3.5インチディスクには記録に使 える面積が半分以下しかないにもかかわらず、実 際はこの小さなディスクの方が多くのデータを詰 め込むことができる。標準フォーマットの場合、 通常密度では最高 720K バイト、高密度では最高 1.44M バイトの記憶容量になる。この容量の増加 は、保持力の高い、より細かい粒子の磁性体を使 用した結果である。しかも、3.5 インチディスクで は金属製ハブを使っているため、機械の動作が一 層なめらかで確実なものとなり、しかも損傷や摩 耗に強く、ディスクの位置合わせという昔ながら の問題はある程度解消されている。3.5 インチディ スクの設計では、従来の1インチ当たり48本また は96本のトラック密度の代わりに、1インチあた り135本という高密度になっている。ただし、領

域が限定されているため、そこに収まっているのは80本のみである。

セクタ数

IBM Convertible や一部の互換機が使用している容量の小さい IBM 3.5 インチドライブでは、通常の両面倍密度ディスクと物理的、論理的に同じ配列(1トラックを512 バイトのセクタ9つに分ける)を採用し、トラック数のみを倍増して(最高80本)容量を増加させ、720K バイトを達成している。PS/2シリーズやそれ以降の新しい互換機のほぼすべてで使用されている高密度ディスクになると、(1トラック当たり18セクタとすることで)各トラックのデータ密度を倍にして、限界の1.44M バイトという容量を達成している。なお、片面の3.5インチディスクは IBM の仕様ではサポートされていない。

挿入されたフロッピーディスクが通常密度のものであるか、高密度のものであるか、ディスクドライブは判別できる。高密度ディスクには**高密度ノッチ**(穴)があり、ドライブはこれを感知して高密度であることを知る。

超高密度ディスクも、高密度ディスクと同様に、1インチに135本の割合で配置したトラック数(80本)になっているが、トラックごとのセクタ数を18から36へと倍増している。トラック幅は以前のタイプのフロッピーディスクと同じである。こうした配列により、超高密度フロッピーディスクドライブは互換性について何の問題もなく、720Kバイトおよび1.44Mバイトの両方のフロッピーディ

スクを読み書きできるようになっている。

2.5インチフロッピー

1989 年、Zenith Data System は、倍密度の 3.5 インチドライブシステムに従った新しい2.5イン チフロッピーディスクシステムを導入したが、こ れは短命に終わった。ドライブのトラックとセク タの配置は3.5インチと同じで、容量は720Kバ イトだが、2.5インチドライブの方が小さい分だ け、情報を詰め込む密度は明らかに高い。サイズ を小さくした理由は、フロッピーディスクドライ ブを可能な限り小さい筐体に収めるためであった。 着脱可能なメディア、つまりフロッピーディスクを 使えないノートパソコンなど誰も欲しがらないと Zenith は信じていたのである。Zenith にとって残 念なことには、ユーザーがパーソナルコンピュー タにフロッピーディスクを使用することにこだわ るそもそもの理由は、ディスクを交換してデータ をデスクトップコンピュータに移すことができる ということである。したがって、これができない Zenith の非標準のフロッピーディスクドライブは、 誰も使おうとは思わなかった。ファイルをこの小 さなフロッピーにバックアップできても、Zenith のノートブックコンピュータからいざそのデータ を移そうとすると、フロッピーディスクドライブ が付いていないマシンと同じように、そのノート パソコンをデスクトップコンピュータに接続しな ければならなかった。Zenith のこうした苦い経験 の後は、2.5インチドライブを選ぶメーカーはな かった。

20.2 フロッピーディスクドライブ

一般にコンピュータ機器がそうであるように、フロッピーディスクドライブも単純な装置である。 基本的な構成部品としては、ディスクを回転させるスピンドルモータ、メタルバンドを外側や内側に移動させて、読み書きヘッドを適当な位置に運ぶステッパモータ、そして、いくつかの部品を組

み合わせたヘッドアクチュエータと呼ばれる部品の3つである。ディスクを中心に合わせて固定し、読み書きヘッドをディスク面に押し当てるために、ハブクランプを下げる操作は手動式の機構で行われる。最初のIBM PCに使われていた片面ドライブを除き、ドライブにはすべて2つのヘッドが

使用されている。2つのヘッドはディスクをはさむ形で両側についており、どちらかの面を選んで読み書きを行う。ディスク両サイドのトラックはインターリーブされているため、2つのヘッドはぴったりと上下に重なるのではなく、少しずれている。

速度制御

ドライブ装置には基板が最低でも1枚取り付けられているが、その基板に詰め込まれた電子回路はすべて単純な動作を制御しているにすぎない。サーボシステムはディスクの正しい回転スピードを維持するものである。通常は、光センサが、スピンドル上の白いディスク面に付けられた黒点によるストロボスコープ用のパターンを感知しており、電子回路が一定時間内にセンサを通過する黒点数をかぞえて、ドライブの回転スピードを割り出し、必要に応じて速度を調節している。類似のセンサとして、光学式ではなく磁気を使用しているドライブもあるが、働きは基本的に同じで、一定時間内に通過する磁気パルス数を数えて、ドライブの速度を割り出している。

ヘッドの制御

ディスク面の半径線上のどの位置にヘッドを移動させるかを制御している電子回路もある。ヘッドを動かしているステッパモータは、電圧パルスに反応して、ステップを1回から数回繰り返すことにより、パルス数に相当する距離(角度)分ヘッドを移動させる(ここからステッパモータという名前がついている)。ホストコンピュータ内のフロッピーディスクコントローラカードから送られてくる信号によって、ディスク上のどのトラックヘッドを移動させるかディスクドライブへ指示が出される。すると、ドライブの電子回路は、指定されたトラックへヘッドを移動させるために、適切な数のパルスをスッテピングモータに送る。

単純なフロッピーディスク機構では、ヘッドがディスク上のどの位置にあるかについてのフィードバックはない。アクチュエータがつくり出すステップ数によりヘッドは正しい位置に行くものと仮定しているにすぎないのである。ドライブとし

てはヘッド位置を維持しようと最善を尽くしているのだから、ヘッドをしかるべき位置からずらしてしまうのは厳しい現実のみがなせる業である。たとえば、手を伸ばして、ヘッド機構を押してしまったりすることもあり得るだろう。あるいは、ヘッドが目的の位置へ向かう途中で、スイッチを切ってしまったりすることもあるだろう。電源を切ると、すべての回路が記憶を失い、ヘッドの位置は判らなくなってしまう。

注意すべき点は、現在売られている大半の倍密 度フロッピーディスクドライブに装着されている ステッパモータは、IBMのフロッピーディスク フォーマットが採用している 40 本のトラックをす べてトレースできるということである。かつての コンピュータの中には、40 本もトラックが必要な いものもあったため、これらのコンピュータ用の ドライブ(ほとんどは信じられないような安値で すでに処分されてしまっているだろう)の中には、 40 本分のトラックをトレースできないものがある のだ。

ヘッドインデクシング

へッドを確実に正しい位置に配置するために、ドライブはインデクシングと呼ばれる方法を用いている。まず、ドライブはできるだけディスクの端までへッドを移動させる。へッドがこのインデックス位置まて到達すると、アクチュエータがどんなに強く動かそうとしても、ヘッドはそれ以上移動することはできない。ヘッドが確実にインデックス位置に停止するように、アクチュエータは十分なステップ数だけ(ディスクの幅よりも大きな数)へッドを移動させたことは、ドライブの電子回路によって確認される。ヘッドがインデックス位置に到達した後は、制御回路により、アクチュエータが決まったステップ数だけヘッドを動かすため、ヘッドがディスク面の半径線上のどの位置にあるか正確に把握できる。

超高密度ドライブ

超高密度の記憶メディアを扱うために、超高密度フロッピーディスクドライブには根本的な革新 が必要だった。各面にもう1つヘッドを搭載しな ければならなかったのである。超高密度のメディアは扱いが非常に難しいため、消去ヘッドが別に必要となる。追加されたヘッドは、読み書きヘッドと同じアクチュエータに取り付けられており、ヘッドと一緒にトラックからトラックへ移動する。データを書き込むときは、ます、消去ヘッドが磁束遷移を同一方向に揃えて書き込む領域を準備し、その後で、読み書きヘッドが磁気の向きを反転させてデータを書き込む。

DOS の条件

機能的には、フルハイトとハーフハイトの5.25 インチドライブには違いはまったくない。ハーフハイトのドライブは DOS の 2.0 以前のバージョンでは使用してはならないという点を除けば、両者はどのソフトウェアでもまったく同じように動作する。小さなドライブ機構は速度が遅かったため、IBM は PCjr と同時に発表された DOS 2.1 ではソフトウェアタイマの時間定数を増やしている。

DOS 3.0 以降の新しいバージョンになると、ハーフハイトドライブの規格を考慮に入れるだけでなく、高密度 (1.2M バイト) 5.25 インチドライブもサポートしている。したがって、1.2M バイトのフロッピーディスクには DOS 3.0 以降のバージョンを使用しなければならない。

3.5 インチドライブを初めてサポートした DOS バージョンは DOS 3.2 だが、サポートしているのは PC Convertible が使用している 720K バイトのドライブだけである。PS/2 シリーズが使用している容量 1.44M バイトの高密度 3.5 インチドライブには、DOS 3.3 (あるいはそれよりも新しいバージョン) もしくは OS/2 が必要である。超高密度フロッピーディスクドライブになると、DOS 5.0 以降のバージョンが必要である。

フロッピーディスクコントローラ

フロッピーディスクドライブを動作させるのは 簡単に見えるが、実際には多くの制御レベルを駆 使した複雑な操作である。アプリケーションプロ グラムを実行しているときにセーブ(退避)ボタン を押しても、ドライブには直接伝わらない。セー ブが行われるまでには次のようなプロセスがある。 まず、そのボタンを押したことがコンピュータのハードウェアにより感知され、BIOSがそれを認識する。続いて、BIOSが適切なキャラクタコードをアプリケーションプログラムに送ると、プログラムは DOS に対してディスクに何か書き込むように1つもしくは複数の要求をする。DOS は命令を BIOS に送り、BIOS はディスクコントローラのポートにコードを送る。最後に、そのコントローラがドライブに対して、ヘッドをどこに移動し、何を行うかを指示する。

このプロセスの中で終わりから2番目に位置するハードウェアがフロッピーディスクコントローラである。これには、フロッピーディスクドライブを動作させるにあたって2つの役目がある。1つは、通常 BIOS が作成して、コンピュータシステムから送られてくる論理コマンドを、ディスクドライブを制御する正確な信号に変換することである。もう1つの機能は、ヘッドが生成するパルスストリームを、コンピュータで処理可能な形式のデータに変換することである。

フロッピーディスクコントローラの働きを理解する一番よい方法は、フロッピーディスクドライブを制御する信号と、ドライブがホストコンピュータに送る信号とを調べてみることである。

ドライブ A 選択信号とドライブ B 選択信号は、 2 台のドライブのいずれか (A または B) を選択す るのに使用される(4台のドライブを搭載したシス テムでは、2本目のケーブルの A の信号がドライ ブ C を制御し、同じく 2 本目のケーブルの B の信 号がドライブ Dを制御する)。割り当てられてい る信号が出力されていない場合、そのドライブは、 ドライブモータを制御する回路を除き、すべての 入出力回路を停止される。このようにして、2台 のドライブは互いに干渉することなくコントロー ラケーブル内の何本かのワイヤを共有することが できる。こうした制御方法では、2台のドライブ のうち一度に動作できるのは一方だけということ になるが、Aドライブから読み取ると同時にBド ライブに書き込みを行うことは不可能である。こ のために、ディスクやファイルに保管されている データは、いったんメモリに転送してからでない と、ほかのドライブにコピーできないのである。

各ドライブのスピンドルモータの入切には、ド ライブ毎に1本ずつ信号線を使用している。これ らのワイヤはそれぞれドライブ A 選択ラインとド ライブ B 選択ラインと呼ばれている。2 つのモー タを同時に回転させることもできるが、IBM が定 めた規則では、これらのラインをアクティブにし て、2台のドライブモータを同時に動作させてはな らないことになっている(こうしておけば、使用で きる電力量に非常に厳しい制約のあるコンピュー タシステムでは、有効な電力の節約になるが、ド ライブが1つしかない XTシステムでは無意味で ある)。もちろん、モータイネーブル信号が止まっ た後もほとんどのドライブは数秒間モータを動か し続けるため、コンピュータ内の2台のドライブ は短期間であるが同時に動作することがある。ヘッ ド位置の制御は2つの信号で行っている。1つはス テップパルス信号で、ディスクの中心方向もしく は外周方向に1ステップ(1トラックに相当)へッ ドを移動するようにドライブのステッパモータに 指示するものである。もう1つのディレクション 信号は、パルスによりヘッドを移動させる方向を 制御している。この信号がアクティブのとき、ヘッ ドは中心に向かって移動する。

両面ディスクのどちらの面を読み取るかを通知するには、サイドセレクトという信号を使用する。この信号がアクティブのときは、ドライブは上側のヘッドを使用し、インアクティブのときは、自動的にデフォルトのヘッド(下側)を使用する。

ディスクの書き込みには2つの信号が必要である。ライトデータ信号には、磁気により実際にディスク上に書き込まれる情報が含まれている。この信号は、ディスクの磁束遷移に正確に対応したパルス列で構成されている。読み書きヘッドはこれらの信号を磁気によってそっくりそのまま繰り返すにすぎない。もう1つの信号のライトイネーブル信号は、貴重なデータの上に間違って書き込んだりする可能性を防止する安全機構として使用される。この信号がアクティブでなければ、読み書きヘッドに書き込み電流は送られない。

データ信号の転送速度はディスクドライブの種類 によって異なる。通常密度フロッピーは毎秒 250K ビットでデータを送受信する。高密度ドライブは毎 秒 500K ビットの処理速度である。超高密度ドライブの場合は、毎秒 1M ビットの処理速度となる。 コントローラはフロッピーディスクドライブから4つの信号を受け取る。

これらの信号のうち2つは、コントローラがヘッドの位置を確定するのに使用される。トラック O 信号は、ヘッドがディスク面の一番外側にあるトラック上に来たことをコントローラに知らせるもので、これによって、コントローラはヘッド移動のパルス数をどこから数え始めればよいかがわかる。インデックス信号は、ドライブがディスクのトラック上の各ビットの位置決めをするのを助けている。ディスクが1回転すると、インデックスライン上でパルスが1つ生成される。コントローラはインデックス信号が与える基準値に基づき、次に続くデータパルスの間の距離を計測することができる。

ライトプロテクト信号は、ディスクにライトプロテクトタブがあるかないかを感知するセンサから発生する。タブがあればこの信号はアクティブとなる。

リードデータ信号には、ディスク上に連なった 磁束遷移と正確に対応する電子パルス列が含まれ ている。データ転送速度は、ディスク書き込みが 行われる速度と同じである。フロッピーディスク コントローラは、トラック番号とセクタ番号で表 わされている BIOS からの要求やハードウェアに 直接与えられる命令をパルスに転換して、ヘッド をディスク上の正しい位置に移動させなければな らない。また、動作効率を最高にするために、コン トローラはヘッドがどこにあるかを記憶しておき、 必要に応じてヘッドの位置を割り出し、エラーが 発生したときはそれを報告しなければならない。

フロッピーディスクコントローラは、データ変 換を行う場合、ドライブから送られてきた不定形 のパルスストリームの意味を判断しなければなら ない。まずインデックスパルスから各トラックの 先頭を見つけ出し、次にデータストリームに埋め 込まれた情報から各セクタを区分けするのである。 要求されているセクタを見つけると、次にそのセ クタに含まれている情報を読み取り、PCバスを 通して転送できるようにその情報の形式をシリア ルからパラレルに変換する。書き込みを行う場合には、コントローラは、まず書き込みをする正しいセクタを見つけ(これは読み取り動作である)、次に書き込み電流のスイッチを入れて、次のセクタが始まる前に正しいセクタにデータを入れなければならない。

コントローラがこなしている困難な仕事の大半は、たった1つの集積回路、すなわち、「765コンローラチップ」により処理されている(現在のパーソナルコンピュータでは、765チップの機能はチップセットの中に組み込まれていることが多い)。765チップはマイクロプロセッサとよく似た働きをする。コンピュータの入出力ポートに接続されているレジスタから受け取るコマンドに基づき特定の動作を実行するのである。

765 チップはプログラムすることにより動作するため、765 チップと IBM フロッピーディスクコントローラは極めて汎用性が高い。フロッピーディスクドライブの基本的なパラメータの中で、コントローラのシリコンの中に埋めこまれているものはない。ディスク上のヘッド、トラック、セクタのそれぞれの数は、765 チップのレジスタにロードすることにより設定されるのである。通常、コンピュータを起動させると、IBM 用の標準値がコントローラにロードされる。したがって、普段はコンピュータを起動させた後、それらの値について気にする必要はない。

IBM 規格と異なるフロッピーディスクであっても、特別なソフトウェアがあれば、そのディスクを読み書きし、フォーマットできるようにコントローラを再プログラミングすることができる。この再プログラミングを行うソフトウェアには2つのタイプがある。コピー防止用のソフトウェアは、セクタにわざと不正常なセクタ番号をつけたり、セクタを余分に加えたり、そのほかこれらに似た操作で、通常のIBMパラメータでは再現ができない細工をすることにより、ドライブの核心であるパラメータを変更することがある。ディスクエミュレーション用のソフトウェアの場合は、コントローラのプログラムを変えることにより、フロッピーディスクドライブが、IBM以外のコンピュータ(たとえば CP/M を採用しているコンピュータ

タなど)が使用しているドライブと同じように動作するようにする。ただし、注意しなければならないのは、IBM システムには融通性があるとはいえ、Commodore や Apple のディスクなどすべてのディスクを扱うことができるわけではないということである。それらのコンピュータではディスクドライブを制御するのに、765 が真似できないようなまったく異なるコントローラを使用しているからである。

コントローラの集積化

IBM は明確に異なる3つのスタイルのフロッ ピーディスクコントローラを使用してきた。スタ ンドアローン型、組み合わせ型、集積型の3つで ある。最初の PC に使用されたオリジナルの設計 ではスタンドアローン型のフロッピーディスクコン トローラが採用されていたが、これは XT シリー ズや Portable PC シリーズでも採用されている。 PCir では別のコントローラを使っているが、機能 的にはこれと同一のものであった。AT シリーズ および XT Model 286 のフロッピーディスクコン トローラは、ハードディスクコントローラと組み 合わされたものであった。そして、PS/2 モデル になると、すべてフロッピーディスクコントロー ラはシステムボードの回路に組み込まれるように なった。最近の PS/2 に使われている超高密度コ ントローラも同じく集積型である。IBM 互換機 メーカーも同様にこれらのコントローラすべてを 採用している。

フォーマットの互換性

IBM PC 系と PS/2 系のコンピュータ(およびこれらと完全に互換性のあるコンピュータ)は、理論的にはすべて標準的な両面倍密度フロッピーディスクをサポートできるはずである(PS/2 の場合、通常密度の 5.25 インチフロッピーディスクドライブを動作させることができるが、この機種に適合するドライブを見つけるのは難しい)。このように、通常密度のフロッピーのみがパーソナルコンピュータ製品全体に真に共通している記憶システムであり、そのメディアはすべて1つのフォーマットに統一され、最も幅広い互換性を持っている。

データ容量が 1.2M バイトの高密度 5.25 インチドライブをサポートしている IBM コンピュータは、AT 以降の機種 (XT Model 286 を含む)のみである。それ以前の機種 (PC、XT、Portable PC、PCjr)の BIOSでは、AT 以降の機種のドライブが使用しているトラック本数が最大のディスクは取り扱うことができない。同様に、3.5 インチドライブは、Convertible を除き、PS/2 より古い機種ではサポートされていない。Convertibleの場合、その最初のバージョンでは 720K バイトのドライブしか取り扱えなかった。

この原因は主として各システムの BIOS にある。 BIOS には 765 チップを様々な種類のフロッピーディスクに対応させるための手順が書き込まれている。したがって、BIOS の中に 3.5 インチドライブを動作させるのに必要な手順が用意されていなければ、その BIOS が搭載されたシステムに 3.5 インチドライブを接続しても、正しく動作することは望めない。

自分のコンピュータが特定の種類のフロッピー ディスクと互換性があるかどうかを確認するのは、 使用説明書をチェックする程度の簡単なこともあ るが、試行錯誤の実験のように難しいこともある。 最初にチェックするのは、コンピュータが製造され た日付である。IBM AT が発表されたのは 1984 年8月だが、高密度5.25インチドライブは最初 の PC/AT の発表前には導入されていなかったた め、AT以前に設計されたコンピュータなら、恐 らく倍密度(360K バイト) 5.25 インチフロッピー ディスクドライブしか認識しない。また、IBM が ラップトップコンピュータ PC Convertible を発 表するよりも前に設計されたシステムは、倍密度 3.5 インチドライブを使用していないだろう。な ぜなら、IBM はその機種と一緒に 720K バイトの フォーマットを導入しているからである。IBM が 高密度 3.5 インチドライブを使い始めたのは、1987 年に PS/2 シリーズを発表したときだが、それ以 前に、2、3のメーカーはすでにこのフォーマット が使われるようになるだろうと予期していた。

自分のシステムがいつ設計されたか、またはい つ発売されたかわからなくても、運に見放されて いるわけではない。コンピュータのセットアップ処 理をやってみればよいのだ。この場合、コンピュータが起動したときにセットアップをキーボードで選んで行ってもいいし、コンピュータを購入したときについてくるセットアッププログラムのディスクで行ってもよい。いずれにしても、セットアップする際にフロッピーディスクドライブに関してどのようなオプションがあるかを調べてれば、どのようなフォーマットをサポートしているかわかる。

ATが発表になって以降、ほとんどのコンピュータが使用しているセットアッププログラムには、ドライブ A および B としてインストールするフロッピーディスクドライブの型式を選べる選択肢が用意されている。したがって、この場合は自分がインストールするドライブを選択肢の中から選べばよい。インストールしたいフロッピーディスクドライブの型式が選択肢にあれば、何の問題もない。簡単で機械的な取り付け作業を行うだけで、フロッピーディスクがアップグレードされ、自分のパーソナルコンピュータで動くようになる。

セットアッププログラムがないコンピュータは、恐らく AT 以前の古いタイプの設計である。したがって、そのシステムは、倍密度 5.25 インチフロッピーディスクドライブしか認識しないと思ってまず間違いない。

ラップトップコンピュータではまったく状況は 異なる。ラップトップコンピュータメーカーの大 半は、ディスクに互換性がないのは問題であるこ とを認識しており、外部の 5.25 インチフロッピー ディスクドライブが自社の製品に接続できるよう に、何らかの手段を講じている。ラップトップコ ンピュータにはフロッピーディスク専用のポート があり、アドオンドライブはほとんどそこに接続 される。なお、このようなメーカーは、増設用の フロッピーディスクドライブとして、自社製品を 提供している(概して高価)。

自分のコンピュータがある特定のタイプのフロッピーディスクドライブをサポートしていないということは、必ずしも、様々なフロッピーディスクドライブを接続して使用するチャンスが永久にないということではない。ほんの2、3の手順でコンピュータに種類の違うドライブの扱い方を教えることができるのだ。

それにはまず、3つある中から1つの方法を選ばなければならない。1つはドライバソフトを追加すること、もう1つはフロッピーディスクコントローラをフロッピーディスクドライブと一緒にアップグレードすること、そしてもう1つは、BIOSを変更することである。最初の方法が最も一般的で、一番費用がかからず、コンピュータの電子回路の秘密に触れなくてすむ方法である。しかし、同時に最も制約の多い方法でもある。

ドライバソフトは、システム内の BIOS に含まれているコードに、新しいタイプのフロッピーディスクドライブを取り扱う特別の命令を追加するものであるが、ほかの装置のドライバと同様、このドライバも各自のシステムの CONFIG.SYS ファイルからロードされる。

これがドライバソフトを使用する上でのまず最初の制約である。システムが起動してからでないと、ドライバを読み取ることができないため、ドライバソフトはブートフロッピーを挿入するドライブAについては解決策とはならないのである。これは、にわとりが先か卵が先かといった話と同じで、システムは最初にドライバを読み取らなければならないため、フロッピーからは起動できないが、ドライバを読み取るためには、まずシステムを起動させなければならないのである。

さらに、DOSがコンピュータの制御権を受け取ってからドライバがロードされるため、ドライバソフトは各オペレーティングシステムに専用のものである。つまり、OS/2やUnixに必要なドライバとDOSに必要なドライバは異なるのだ。しかし、多くの場合、DOS以外のオペレーティングシステム用のドライバソフトは手に入れることはできないと思われる。したがって、新しいオペレーティングシステムに切り換える予定の人には、このドライバを追加する方法は向かない。

ディスクユーティリティやバックアッププログラムなど一部のソフトウェアには、ソフトウェアドライバを無視して、フロッピーディスクドライブを直接ハードウェア制御するものがある。このようなアプリケーションプログラムは、ソフトウェアドライバを使用しているフロッピーディスクドライブでは恐らく動作しない。さらに悪いことに

は、こうしたソフトウェアがなんとか動こうとし て、フロッピーディスクドライブを回転させ、目 茶苦茶なオペレーションに陥ってしまう場合があ る。こうなると、ドライブに装着したフロッピー ディスクのデータが破壊されてしまうことがある。 また、ソフトウェアドライバはつまらないいら いらも引き起こす。システム内のほかのディスク ドライブがすべて BIOS により初期化されてから、 DOS がドライバを起動させるため、最後に BIOS により初期化されたドライブよりも下に、これら のドライブのレター識別子が設定されてしまうの だ。したがって、新しくドライバにより動作する フロッピーは、恐らくドライブ B ではなくドライ ブDとして認識されてしまうことになる。要する に、ソフトウェアドライバは、異なるフロッピー ディスクドライブをパーソナルコンピュータに適 合させる方法としては、技術的には最も望ましく ない方法ということだ。残念ながら、これが広く 行われている方法としては唯一のものであり、特 定のパーソナルコンピュータでは唯一可能な方法 であることもある。技術的な面から離れて考えれ ば、この方法は最も費用がかからないという利点 もある。

多くのフロッピーディスクキットには、システムをアップグレードするために必要になる場合に備えて、ソフトウェアドライバが入っている。注意すべき点は、このドライバは、DOSの最近のバージョンに付いている DRIVER.SYS プログラムと一緒に使用することである。フロッピーディスクドライブに付いているドライバは、フロッピーディスクドライブをどのように動作させるかをパーソナルコンピュータに指示し、一方、DRIVER.SYSは、その新しいフロッピーディスクドライブをどのように認識するかをシステムに指示するものである。

フロッピーディスクコントローラを変えることで、タイプの異なるディスクドライブを適合させることができるコンピュータも多くある。最近のフロッピーディスクコントローラになると、システムの現在の BIOS に必要なプログラムを追加して、標準的なフロッピーディスクドライブであればどのような種類ものもでの制御できるようにす

る、アドオン BIOS が付属されているものも多い (全部というにはまだ程遠いが)。ただし、アドオン BIOS のサポートが付いた新しいフロッピーディス クコントローラをコンピュータに追加する場合に は、注意する必要がある。旧式のコントローラや、 最近のコントローラで価格が最も安いものには、 必要な BIOS コードが組み込まれていないのだ。

必要な BIOS を確実に入手するには、コントローラを購入するときに、それに BIOS が付属されているかどうか確認する必要がある。さらに、新しいフロッピーディスクコントローラを購入するときには、それがあれば自分のコンピュータでどのタイプのフロッピーディスクドライブが使用できるようになるのか確認すればなおよしである。

フロッピーディスクコントローラがシステムボードに組み込まれているコンピュータの場合、新しいコントローラカードを装着する前に、システムボードのフロッピーディスク制御回路を無効にする必要がある。無効にできなければ、新しいコントローラは搭載できない。また、マイクロチャネル仕様のフロッピーコントローラカードを見つけるのは事実上不可能なので、マイクロチャネルPS/2の場合はコントローラによるアップグレードの方法を採ることはできない。

フロッピーの非互換性の問題を解決する方法と して最も満足できるのは、自分のコンピュータに新 しい BIOS を追加して、必要なフロッピーディスクの命令をすべてコンピュータに組み込んでしまう方法である。この変更を加えるには、コンピュータのシステムボードから LSI チップを 2個(または4個)取り出して、新しいものと取り替える必要があるが、この作業に要する時間は(PCのケースを開けた後)わずか 2、3 分といったところである。

この作業で最も難しいのは、コンピュータに適合する BIOS のアップグレードプログラムを見つけることである。BIOS メーカーは数社あるが、いずれもチップの販売はコンピュータメーカーに対して行っており、通常、個人のエンドユーザに販売することはない。

さらに、BIOSのアップグレードプログラムが、自分の持っているコンピュータの製造元から入手したものではない場合、それが実際にコンピュータに適合して動作するという保証はまったくない。通常、BIOSは個人が簡単に入手できる仕組みにはなっていないのだ。せいぜいできることといえば、コンピュータを購入した販売店にあたって、そのコンピュータの製造元がBIOSのアップグレードプログラムを提供してくれるかどうかを尋ねてみることぐらいである。アップグレードプログラムがもし入手できるというのであれば、その販売店こそが最高の(そして唯一の)供給元である。

20.3 ドライブとケーブルの構成

IBMのフロッピーシステムはフロッピーディスクシステム全体の標準である。IBMのフロッピーシステムは、フロッピーディスクドライブを取り付ける際に、使用者があれこれ考えなくてもいいように設計されている。これは、メーカーが組み立て過程のことを考えた結果であることがわかる。ユーザーは簡単なルールを2つ3つ理解してしまえば、組み立て工と同様に、いやもっと上手にフロッピーディスク取り付けの作業をやってのけることも可能なのだ。

ドライブ選択ジャンパスイッチ

フロッピーディスクのサブシステムに使われているケーブルは、それに接続するドライブがドライブ A になるのかドライブ B になるのかを、ドライブ自身があらかじめ知っているということが前提になっている。しかし、互換性の理由からフロッピーディスクドライブは識別子が違っても共通の設計でまったく同じものとして製造されている。代わりに、フロッピーディスクドライブが、自分を A ドライブもしくは B ドライブとして認

識できるように、ドライブメーカーはドライブに DIP スイッチまたはジャンパスイッチを取り付け ている。このスイッチはドライブ選択ジャンパス イッチと呼ばれ、これを設定すれば、フロッピーディスクドライブを A から D までの4つのドライブのいずれか1つにすることができる。

ドライブ選択ジャンパスイッチは、基本的には ケーブルの配線の一部を切り換えるものであるが、 この機能に関する理由から、ケーブルを接続する エッジコネクタに近いドライブの上部に付けられ ているのが一般的である。通常この部分にはほか にもジャンパスイッチが並んでおり、それぞれに 2、3個の文字と数字を組み合わせた、あまり意味 のなさそうな記号のラベルが周辺に貼られている はずだ。その中で、ドライブ選択ジャンパスイッチ には、(ラベルが付いていれば) 先頭に DS という 2文字の記号が付いているので、それと見分ける ことができる。ここからは先はディスクドライブ メーカーにより2通りに分かれる。ドライブ選択 設定の幅を1台から最高4台までとしているメー カーと、1台から最高3台までとしているメーカー がある。

ドライブ選択の設定

IBM の仕様では、これらの設定のどれがドライブ A でどれがドライブ B に (さらにドライブ C や D に) 該当するのかといった問題は発生しない。 IBM スタイルのコンピュータのフロッピーディスクドライブはすべてシステム内の 2 番目のドライブとして設定される。そして、フロッピーディスクの接続ケーブルに特別な "ねじり"を加えることで、ディスクドライブの選択を行っているのである。

IBM スタイルのシステムにフロッピーディスクを取り付けたら、自動的にそのドライブは2番目のドライブとして設定すればよく、A になるか B になるかに注意を払う必要はない。ドライブ選択ジャンパスイッチに0から始まる番号がついているドライブの場合は、フロッピーディスクドライブは1として設定すればよい。同様に、ドライブ

設定ジャンパスイッチの数字が1から始まるドライブの場合は、2に設定すればよい。

ドライブのケーブル

ドライブの選択を行うケーブルの特別なねじりは、次のようになっている。片側のコネクタに接続される手前で、フロッピーディスクケーブル内の5本のワイヤをねじる。このねじりによって、ドライブ選択とモータ制御の信号が逆になり、また数本の接地線も配列が変わる(そうすることで、うまいぐあいに変更が生じないようにしている)。

ドライブはそもそも第2ドライブとしてセットアップされているが、この逆転の結果、ねじりを与えたケーブルに接続されたドライブが第1ドライブ、すなわち、ドライブAとなる。いいかえると、ねじりを加えた側の端にあるコネクタに接続されたドライブがAドライブになる。これに対し、ドライブBはケーブルの中程にあるコネクタに接続される。そして、ねじりを加えていない側の端にある3つ目のコネクタは、フロッピーディスクコントローラと接続される。

1 台のフロッピードライブと ストレートスルーケーブル

ハードディスクドライブの場合、ストレートスルーケーブル、すなわち、ねじりのないケーブルを使い、接続されたハードディスクドライブのドライブ選択ジャンパスイッチを第1ドライブに切り換えることにより、1台のディスクドライブを動作させることができる。フロッピーディスクドライブに対しては、この手は使えない。ケーブルのねじった部分がドライブ選択信号だけでなく、モータ制御信号も移動させているからである。このため、1台のフロッピードライブにはストレートスルーケーブルは使えないわけだ。

1台のドライブを扱うことができるフロッピーディスクケーブルを自分で作る場合は、IBMのドライブ選択の方式を遵守しなければならない。そして、図 20-4 に示した方法でケーブルにねじりを加えなければならない。

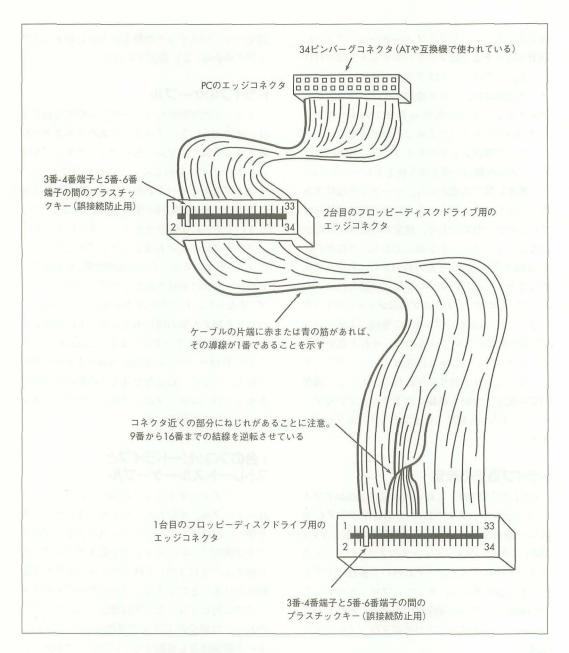


図 20-4 2 ドライブフロッピーディスクケーブル

20.4 ターミネータ抵抗ネットワーク

IBMが最初に開発し、互換機メーカーが採用しているフロッピーディスクシステムでは、ドライブ AとBの物理的な違いはたった1つしかなかった。ドライブ Aには常にターミネータ抵抗ネットワークが取り付けられているのに対し、ドライブBにはないということである。フロッピーディスクドライブが3台または4台搭載されているシステムの場合、ドライブ Cにはターミネータ抵抗が付いているが、ドライブ Dには付いていない。

この規則は簡単でありながら実際は紛らわしくて、大半の人々がうまく対処できないことが判明したため、最近のフロッピーディスクドライブには取り外しのできないターミネータ抵抗パックが取り付けられていることが多い。

目的

ターミネータ抵抗は、フロッピーディスクコントローラとドライブの電子回路とをつなぐ結線を流れる過電流を吸収するために使用される。特定の電流だけがターミネータを流れるように設計されている。ターミネータ抵抗ネットワークは、過電流がシステム内に残らないように、適切な量の電流を強制的に流す役割を果たしている。ターミネータ抵抗がなければ、フロッピーディスクドライブに向かう信号がうまく整合されず、減衰するまで回路の中を行ったり来たりして、誤動作を引き起こしたりすることがある。ターミネータ抵抗は過電流を吸収することで、そうした誤動作が生じるのを防いでいる。

ターミネータ抵抗が2つあると(たとえば、システム内に2台のディスクドライブがあり、その両方にネットワーク抵抗が取り付けられている場合など)、流れる電流が大きくなり過ぎて、回路自身の寿命を縮めてしまうことがある。ターミネータ抵抗ネットワークは必ず、ケーブルと物理的に最後に接続されているドライブに取り付けられていなければならない。そこが、信号反射が生じる箇所だからである。

取り外しのできるターミネータ抵抗は一般に 2.2k Ω (1 Ω が電気抵抗の基礎単位で、1k Ω は 1000 Ω) が定格である。一方、取り外しのできない ターミネータ抵抗の公称定格は 1k Ωである。した がって、取り外しのできないターミネータ抵抗が 付いた2台のドライブは、正しく終端したシステ ムと大体同じ抵抗値となる。取り外しのできない 抵抗が付いたドライブ1台が単独で、または2.2k Ωのターミネータ抵抗パックが付いたドライブと 一緒にパーソナルコンピュータに取り付けられて いる場合、厳格な規則を破ることによる不整合は 本来の半分だけとなる。これは実際にはほとんど 問題はないといっていい。取り外しのできるター ミネータ抵抗が装着されたドライブであれば、規 則を遵守した方がよい。そうしないと、ターミネー 夕抵抗の抵抗値が高くなりすぎたり、低くなりす ぎる。

ターミネータ抵抗の識別

ターミネータ抵抗を見分けるのは非常に簡単である。その形状は通常 2 通りで、1 つはシングルインラインパッケージのもの、そして、これよりも多いのが、普通の IC に似ているデュアルインラインパッケージのものである (IC とは違って、青やアンバや、光沢のあるものがある)。シングルインラインパッケージは小さな長方形のブロックに似ていて、長さが約1インチ、横幅が1/8インチ、高さが1/2インチある。1/10インチの間隔で9本のリードがパッケージの下から出ており、ソケットへ接続されているか、またはフロッピーディスクドライブの電子回路のプリント基板へ直接接続されている。取り外しのできないターミネータ抵抗は大抵シングルインラインタイプである。

現在のほとんどのフロッピーディスクドライブでは、ターミネータ抵抗だけが回路基板上でソケットに取り付けられているので目立つ。一般的なターミネータ抵抗を図 20-5 に示した。

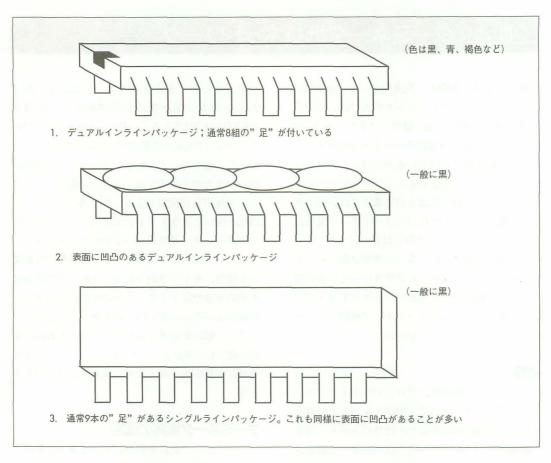


図 20-5 ターミネータ抵抗

設置場所

ほとんどのフロッピーディスクドライブでは、ターミネータ抵抗ネットワークはドライブを差し込むエッジコネクタ近くに付いている。ネットワーク抵抗は搭載された約半数のドライブからは取り外さなければならないため、取り外しやすいように、ドライブの電子回路をのせたプリント基板の後端近くにあるのが一般的である。普通は、ドライブ選択ジャンパスイッチの近く、もしくは隣にある。

取り外し

取り外しのできるターミネータ抵抗が付いたフロッピーディスクドライブをドライブ Bか Dにするときは、大抵はその抵抗を引き抜くだけでよい。シングルインラインパッケージのネットワークはソケットから強く引き抜くだけで取り外しができるはずである。デュアルインラインパッケージのネットワーク抵抗の場合は、チッププラー(チップを引き抜く道具)か、小さいドライバなどを使う必要があるだろう。

20.5 ディスクの管理

フロッピーディスクの管理に関するルールはすべて、損傷を防止するということが基本になっている。フロッピーの機能を損なう要因には2種類ある。物理的な力と磁気である。

フロッピーの敵、磁気

この2つで油断がならないのは磁気である。フロッピーディスクに記憶させたデータが目には見えない磁界によって変化したり、消えてしまうことがある。たとえば、ディスクのFAT (ファイルアロケーションテーブル) が損傷すると、データの書き込みはできても、恐らくそのディスクの情報を回復させることは二度とできないだろう。

オフィスには損傷の原因となる磁気の発生源がたくさんある。たとえば、旧式の電話器の内部には呼鈴装置があるが(ベル電話器はその内部にベルがあり、そのベルが実際に鳴っている)、この呼鈴装置は強力な電磁石で動いている。したがって、電話が鳴るたびに磁界が作り出されるため、電話器の近くや下にディスクがあれば、中身が消えてしまうことがあり得る。しかし、この場合の磁界はそれほど強力ではないので、ディスクを電話器から10cm程度も離しておけば問題ない。

そのほかディスクを損傷する可能性がある機器には、磁化した鋏、上部に円形の磁石が付いたあの小さいがすぐれもののペーパーホルダー、それに、重役の机でときどき目にするモータ付のおもちゃさえも含まれる。モニタですら、その電源や消磁コイルから磁界を発しているものがある。

物理的な危険

物理的なダメージとしては、フロッピーディスクの表面や基材を変化させる恐れのあるものすべてが含まれる。ほこりの膜であれ、油気のある指紋であれ、物理的なかすり傷であれ、変質を来すものはすべて、ディスクの正常な動作の障害となる。

ディスクのラベルにボールペンで書き込むことは、ディスクにかすり傷を生じさせる問題として

よく引き合いに出される。ヘッドがディスク表面の読み取りを行うとき、かすり傷があるとディスク表面とヘッドの接触に、ごくわずかでかつ一時的であるが、ブランクが生じる。このため、本来はそのときに読み取られるはずのデータが失われるため、ディスクエラーが発生してしまう。保護用のジャケットに入れてあっても、ディスクを折り曲げたり、傷つけたりすれば、同じ問題が生じる。

ほこりや指紋は累積するにつれ、ゆっくりと損傷を与えていく。ほこりと指紋が組み合わされて、滑りを悪くし、ディスクやディスクドライブ機構を摩耗させてしまうのだ。ラベルがしっかりと貼られていなかったり、しっかりとはめ込まれていないライトプロテクトタブがはずれたりすると、これもまたディスクやディスクドライブ機構を損傷する原因となりうる。

ディスクの管理に関するアドバイス

ディスクに問題が生じるのを防ぐには、ディスクを正しく管理するのが最善の方法である。まず、使用していないときは、必ず保護用のケースやカバーに入れておく。使用後は、ディスクをドライブから取り出してから、コンピュータの電源を切る。IBM コンピュータの場合は電源を切るときにディスクを装着していても損傷する危険はほとんどないが、マシン内に入れたままにしておくと、ディスク面に損傷の原因となりうるほこりがたまることがある。しかし、カバーやケースに入れておけば、この可能性はかなり少くなる。

ディスクをディスクファイルキャビネットに整理しておくこと。こうしたキャビネットはほとんどプラスチック製なため、磁気を遮蔽することはできないが、磁気発生源から十分離れた場所に置いておけば、そこにディスクを入れることで自動的に安全圏に置いたことになり、磁気による損傷が最低限に抑えられる。また、ファイルキャビネットに入れておけば、整理しておける以外にも、外からの物理的な力からディスクを守ることができ

る。ただし、間違っても磁化した鋏をディスクと 一緒にキャビネット内に入れたりしてはいけない。

5.25インチフロッピーの過激な復旧法

5.25 インチフロッピーディスクのプラスチック 製の保護用ジャケット(一般に黒色)で、データに 損害をもたらす災難のほとんどは回避できる。し かし、ときにはメディアを保護する代わりに、ト ラブルの原因になることもある。たとえば、地元 高校のクロスカントリーチームがスパイクシュー ズを履いた足で踏みつけるなど、フロッピーディ スクにひどい力が加えられた場合、ディスクから データを読み取りたいと思っても、ジャケットに 加えられた損傷がその前に立ちはだかる障害とな り得るのである。つまり、このとき、中のディスク 自体はなんとか無事にすんでも、ジャケットが折 れ曲がってしまっていて、ドライブスロットに入 らなかったり、ディスクがドライブ内部で回転し なくなったりするのである。しかし、このような ディスクでもまだすべてが失われたわけではない。

過激な外科手術によって、ディスクに残存している内容を再び目にするチャンスが与えられる。一度その死に直面したディスクでも、過激な復旧法を用いることで、データを救える可能性があるのだ(3.5 インチフロッピーの場合は、ジャケットが強いので、5.25 インチフロッピーのように、過激な復旧法を行わなければならない程の問題はまず起こらないだろう)。

過激な復旧とは、ディスクをジャケットから切り離して、最後にもう1回だけディスクドライブで回転させるのである。ディスクをジャケットから取り出すには、ジャケットの音波接合部を壊すか(口で言うよりはかなり難しい)、鋏やペーパー

カッタを使ってジャケットの一辺を薄く切り落とせばよい。

ジャケットを開けた後、できるだけ表面に触れないようにしながら、慎重にディスクを取り出す。ディスクドライブはほとんど、そっと挿入すればこの裸のディスクを直接そのスロットに入れることができる。ヘッドを下げて、ハブが傷つきやすいディスクの中央の穴とかみ合うように、レバーを操作する際には、細心の注意を払うこと。

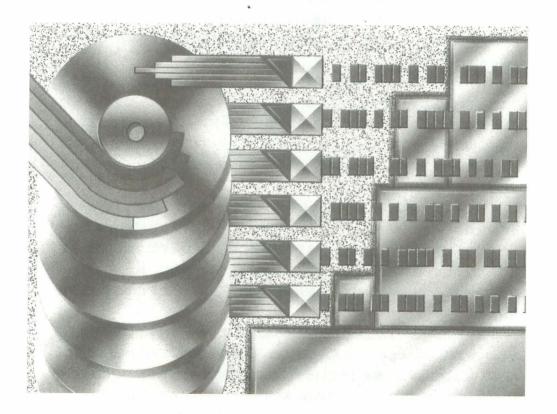
フロッピーディスクドライブの中には、ジャケットに入ったディスクでなければヘッドが下がらない、ヘッド衝突防止ロック付きのものがある。自分のドライブがこのタイプのものであれば、もう1枚別のディスクを犠牲にしなければならない。新しいディスクの横を薄く切って開け、中のディスクを引き出し、代わりに問題のディスクを入れるのだ。

こうして、損傷したフロッピーをディスクドライブに挿入し、その内容を新しいディスクにコピーする。入れ直したディスクを数回回転させることができれば、そのディスクに記憶していた情報を回復する見込みは、間違いなくあるとはいえないまでも、十分ある。

保証付きのディスクのなかには、無料でデータ回復サービスを提供している会社もある(Polaroidが有名)。使用しているディスクにこのような保証が付いている場合は、自分で過激な復旧法を行ってはならない。保証が無効となってしまうからである。代わりに、ディスクメーカーにデータを復元してもらえばよい。ディスクメーカーの方がデータを復元できる見込みも大きいし、しかも、心痛や頭痛にさほど苦しまなくてもすむ。

第21章

ハードディスク



大部分のパーソナルコンピュータでは、ハードディスクが最も主要な大容量記憶装置となっている。システム本体へ短い時間で転送される必要のあるプログラムやデータファイルはすべて、ハードディスクに保存される。ハードディスクは、使用されている技術、インターフェイス、速度、容量の違いで様々なものがあるが、これらの要素の間には相互に密接な関係がある。

ハードディスクの搭載されていないパーソナルコンピュータは、この業界ではすでに用なしの老いぼれである。長い間覚えていられる記憶といえば、フロッピーディスクからロードされる "短い回想シーン" だけである (その上思い出すには手間も時間もかかる)。このようなパーソナルコンピュータの場合、あとはフロッピーディスクが使えなくなるまで最後の面倒を見てやることしかユーザーには残されていない。ハードディスクのないパーソナルコンピュータを使うということは、ユーザー自らも一緒に老いぼれてしまうことである。

ハードディスクは今日のパーソナルコンピュータ用の記憶装置としては最高の装置である。 ほかの周辺装置と比較しても、速度や容量、ユーザーによる簡単なインストール方法などの 点で、ハードディスクに匹敵するものはない。実際、今日のハードディスクが存在しなけれ ば、パーソナルコンピュータユーザーは高速な32 ビットや64 ビットのマイクロプロセッサ を使うことさえできない。高速なチップが真価を発揮できるほど十分なデータをシステム内 に保存することは不可能である。

ハードディスクに保存された大量のプログラムやデータは、常に瞬時でアクセスできるようになっている。ハードディスクがあれば、フロッピーディスクでかかった時間の何分の1という時間でプログラムがロードでき、毎日の仕事をスピードアップすることができるのだ。非常に高速にデータが記憶されたりソートされたりするため、プログラムの多くは処理速度が上がっているように感じられる。また、コンピュータシステムのほかの機能まで反応がよくなったようにさえ感じられることだろう。

ハードディスクは何 M バイト、何百 M バイトという量の情報を扱っている。1 秒間に、物理の教科書や小説 1 冊分の内容と同じくらいの情報を、ハードディスクは記憶したり取り出したりできなければならない。また、システムを最新の状態に保つために、元の記憶内容を捨て去り、新しい内容に置き換えることもできなければならない。特に、トランプのケースほどの大きさしかなく、電灯よりも電力を消費しないこの装置にとって、この作業は大きな挑戦である。

パーソナルコンピュータが生まれてから最初の10年間で、ハードディスクは高価な贅沢品からごく普通の必需品となるまでに発展を遂げた。実際、パーソナルコンピュータの改良が、ハードディスクに対する認識を高めていったのである。最初のPCはハードディスクが搭載できるようにはなっていなかった。その後、XTで初めてハードディスクの能力がパーソナルコンピュータで利用できるようになり、続いて、ATではハードディスクの性能に重点が置かれた。そして、マイクロチャネルPS/2になってハードディスクは標準装備となるに至った(このときまで自尊心の高いパーソナルコンピュータは、ハードディスクドライブを必要としなかったのだ)。WindowsやOS/2が使われる現在、100Mバイト程度のハードディスクは必須である。

ハードディスクは、それがどれだけ必要とされているかによって、高いものにも安いものにもなりうる。ハードディスクには様々な大きさや速度定格のものがある。広告の中に、10年も前の製品なのに自分のマシンに接続できるハードディスクを見つけると、儲けモノをした気分になるかもしれないが、その古びた技術は、待てども持てども現代のマイクロプロセッサの速度には追い付くことはできない。実際、今日のハードディスクを5年前のものと比べても、ほとんど共通するところはなくなっている。今日のハードディスクは昔のものより小型で、反応が速く、数倍の容量を持ち、寿命や信頼性も数倍になっている。それらは初期のものと同じ方法でパーソナルコンピュータに接続することはできない。適切なハードディスクを見つけるには、ドライブの中がどうなっているのか、メカニズムや技術はどのように異なっているのか、そして新しいパーソナルコンピュータと最も適合するのはどれか、よく調べる必要がある。

21.1 名称の付け方

何かについて議論をする場合、その対象となっているものに名前を付けることから始めなければならない。ハードディスクという名前は単純だが、これと同様によく知られた大容量記憶装置であるフロッピーディスクときちんと区別がつく。フロッピーディスクが柔軟性のある板を磁気メディアとして使っているのに対し、ハードディスクでは鋼体の、プラッタと呼ばれる固い基材(もちろん円盤(ディスク)の形をしている)が使われている。ハードディスクという名前は説明的な名前だが、どこででも普遍的に使われているわけではない。ほかにもいくつかの呼び方があり、適切な名前もあれば、そうでないものもある。

IBM の例をあげれば、ハードディスクの代わりに固定ディスクという用語が好んで使われている。この固定ディスクという名前は、フロッピーディスクがドライブから取り出せるのに対し、ハードディスクはプラッタがハードディスクの中に固定されているところから付いたものである。もちろん、ハードディスクの中にはメディアが取り出せるものも出てきており、この場合は固定という言葉があてはまらないということになる。

ウィンチェスターディスクドライブ

ハードディスクの別の呼び方として最もよく聞かれるものが、ウィンチェスターディスクドライブであろう。よく知っている人からはウィンチェスターと略して呼ばれることも多い。実際には、今日あるハードディスクの中でウィンチェスターという製品名を付ける権利を持った製品はほとんどない。

ウィンチェスターという名前は、ハードディスクの読み書きヘッドに使われる基本的な技術と関係がある。ウィンチェスターディスクドライブの読み書きヘッドは、非常に小さなエアフォイルと呼ばれる飛行機の翼のようなものに取り付けられており、ディスクの表面から数マイクロインチ(1インチの数百分の1)上に浮かんで読み書き動作を

行う。ただし、気流の揚力を得て空中を飛ぶ飛行機の翼とは異なり、ディスクでは気流がないため、このままでは読み書きヘッドは浮かばない。ハードディスクでは、ドライブのディスクの回転が空気の流れを発生させ、その空気の流れでヘッドを持ち上げているのである。この設計の利点は、少なくともディスクが回転している間はヘッドがディスクに接触しないため、ディスク表面の摩耗や劣化がないということである。ただし、接触していないとはいえ、読み書きヘッドとメディアの磁界は非常に近く(最近のドライブでは6~12マイクロインチ程度)、離れすぎることはない。

"ウィンチェスター"という名前がこの技術とど う関係あるのかという話は、今日ではコンピュー タの "民俗学"の一部になっている。この技術を用 いた最初のドライブは、IBM のハースレー研究所 で開発されたが、その研究所は英国のウィンチェ スターの近くにあった。しかし、この地名がその ままウィンチェスターディスクドライブの名前に 使われたというわけではなく、地名と名称との間 には何の関係もない。IBM の最初のドライブは両 面記録式で、その両側が 30M バイトずつデータを 記録できたため、その技術は "3030" というコード ネームで呼ばれていた。これに対し、人によって は、この呼び名で、西部との戦いで勝利をおさめ たことで語り草になっている有名な"ウィンチェス ター3030連発銃"を連想することがある。ここか らウィンチェスターという名前が、3030という番 号を持つハードディスクに使用されるようになっ たようである。この呼称はハードディスクだけで なく、同じドライブ形式を基礎としたフライング ヘッド技術においても、一般的に用いられるよう になった。

現在、ウィットニーと呼ばれるヘッドに関する新 しい技術によって、はるかに小型で、高速で、しか も丈夫な製品が可能になったため、ウィンチェス ターに使われていたヘッドの設計法よりも、この 技術を用いる製品が多くなってきた。将来のハー ドディスクでは、このように、フライングへッドではなく、粘性のある液体の中をヘッドが泳ぐようなものに変わるかもしれないが、ウィンチェスターという呼び名は、ハードディスク全般に共通する名前として使われていくことだろう。

ベルヌーイ技術

Iomega Corporationのリムーバブルメディアドライブ、ベルヌーイボックスは、ウィンチェスターの技術を覆すものだった。回転するディスクによって発生する空気の流れを使って鋼体のディスクの上にヘッドを持ち上げるウィンチェスター方式とは異なり、ベルヌーイボックスでは、空気の圧力によってディスクがヘッドの周りで曲がるという柔軟性のあるディスクを使用している。ベルヌーイボックスの長所は、回転するディスクの体積がはるかに小さく、ヘッドがクラッシュしにくいという点である。短所をあげれば、このメディアは常に曲がっているため、次第に劣化していく点である。

このベルヌーイという名前は、18世紀のスイス 人数学者であり物理学者であるダニエル・ベルヌー イが最初に提唱した「ベルヌーイの原理」から来て

いる。ベルヌーイの原理によると、流動体中のい かなる点においてもエネルギーの総量は一定であ るため、流動体の速度が高くなると圧力は小さく なる。よって、空気の流れが速くなると、それに比 例して圧力は低くなる。この原理に従って、飛行 機の翼は "エアフォイル"となるよう設計されてい る。つまり、翼の下を流れる空気よりも上を流れ る空気の方が長い距離を移動するようになってお り、翼の上面の圧力が小さくなるのに対し、翼の 下面の圧力が高くなるため、その圧力の差によっ て翼が持ち上げられて飛行機は飛ぶことができる わけだ。ウィンチェスターハードディスクのヘッ ドはエアフォイル式であり、これもベルヌーイの 原理に依っている。Iomega 社が使ったベルヌー イという名前は、正確にその技術を伝えているが、 その製品に限定された技術というわけではない。

ハードディスク、ウィンチェスター、あるいは 固定ディスクというように、用語はいくつも使われているが、このいずれについても、高速な大容 量記憶装置としての基本的な原理は同じで、イン ストールのしやすさ、使いやすさ、そのほかの長 所は共通しているのだ。

21.2 ハードディスクを理解する

ハードディスクはみな同じに作られているわけではない。ハードディスクのモデルが異なれば、素材や、技術、準拠している規格もそれぞれで異なる。それらの差異はハードディスクの性能や容量の違いとなり、価格も数百ドルから何万ドルといった幅広いものになっている。これらの違いを知っておけば、ディスクを使った製品すべてについて、その品質や価値を適切に見きわめる際の手助けとなり、また、ハードディスクを動作させ、正しく使用するために必要な事柄についても、よりよく理解できるだろう。

ハードディスクはギリシャ神話に出てくるキマイラのようなものである。 つまり、電気的要素と

機械的要素という異組織が組み合わされて一個体を構成しているのだ。電気的要素としては、ハードディスクは一瞬で消え去ってしまう電気的なデジタル信号を、永久的な磁界に変換するという素晴らしい機能を持っている。カセットレコーダからフロッピーディスクまでほかの磁気記憶装置と同じように、ハードディスクでは電磁石(読み書きヘッド)を用いて、ハードディスク上にある磁性粒子の極性を整列させている。また、ハードディスクシステムのほかの電気的な技術がドライブの機械的部分を制御することによって、正しく磁気記憶を行うために、ディスク上に記憶される情報の位置決めを助けている。

ドライブ機構

一般的なハードディスクの機構は、実際かなり単純なもので、電気かみそりや鉛筆削りなどの凝った作りの機械よりも、少ない可動部分で構成されている。ハードディスクの基本要素は、1つまたは複数の大きな円盤(プラッタ)、つまりハードディスクそのものである。このプラッタは、データが記録される磁気メディアを載せるための基材という役割を果たすもので、スピンドルと呼ばれるシャフトと共に回転する。通常、このシャフトは部品全体を回転させるスピンドルモータへ直接つながっている(図 21-1 参照)。

初期のハードディスク (IBM の初代ウィンチェスターの時代にさかのぼる)では、同期式モータを使用していた。これは、ドライブに電気を送っている AC 電源の周波数にドライブの回転速度を同期するように設計されたものであった。この結果、ほとんどのモータは、電源ラインの周波数 (3,600 rpm) と同じ速度でディスクを回転させており、この速度は、米国の商用電力の 60 サイクル/秒と同じである。

しかし、同期式モータは概して大型で重量があり、しかも高価だった。また、同期式モータは交流117 V という通常の供給電圧で駆動するのだが、何種類もの電圧がコンピュータ内部を流れることは装置をクラッシュさせる原因ともなり得るため、望ましいことではない。これに対し、ハードディスクが小型化されるにつれ、メーカーは新しい技術であるサーボ制御直流モータを採用するようになり、このような問題は解決された。サーボ制御モータは、正確で一定した回転速度を維持するためのフィードバック技術を使用したものである。つまり、ディスクドライブの中に取り付けたセンサーによって、ドライブの回転数を監視し、回転速度が仕様で定めた数値と異なっていた場合には、これを調節するのである。

ディスクの回転

ほとんどのハードディスクドライブでは、フロッピーディスクドライブとは違って、プラッタが常に回転を続けている(少なくとも電源を立ち上げてからはずっと回転している)。これは、慣性の

作用により、大きなかたまりのプラッタが比較的高い速度で安定して回転するまでには、5インチの場合で10~30秒、3.5インチの場合でもその半分程度の時間(小さい方は慣性が少ないため)が必要となるためである。ハードディスクが持つ2つの大きな長所のうちの一方はこれにより実現されている。つまり、ハードディスクは常時ディスクが回転しているおかげで、記録されているデータへすぐにアクセスできるわけである。逆にフロッピーディスクの場合は使用しないときは回転を止めているため、十分な速度になるまでに、0.5秒程度の時間がかかってしまう。

一方、ノートパソコンなどは、ハードディスク が常に回転していることが大きな負担になる。ディ スクを常に回転させておくと、その間中、スピン ドルモータによって電力が消費され、バッテリで の連続使用時間が短くなっていく。このため、携帯 用のパーソナルコンピュータ向きに作られたハー ドディスクの中には、必要のないときはディスク の回転を止められる設計になっているものも出て きた。この場合、パーソナルコンピュータ側にこ の機能をサポートする電子回路があって、いつディ スクを停止すればよいかを判断している。ほとん どのパーソナルコンピュータでは、ハードディス クにしばらくアクセスしなかった場合、ユーザー が眠ってしまったか、死んでしまったか、あるい は、ユーザーがエイリアンによって捕らえられて しまいハードディスクを使えなくなってしまった かのいずれかであると判断し、ディスクを停止す る。その後、ハードディスクへ読み出しか書き込 みのコマンドが送られると、ハードディスクは回 転を再開する。したがって、アクセスできる元の 回転速度に戻るまでに、何秒か要することになる。 一度速い回転に戻れば、次にハードディスクが停 止するまでの間は、素早いアクセスが可能となる。

待ち時間

ハードディスクは高速で安定した回転速度を持っているが、アクセスすれば直ちに情報を提供してくれるというわけではない。アクセス後、必ずわずかな時間ではあるが遅れが生じる。この遅れを待ち時間という。この待ち時間は、ハードディス

クにコマンドを送った後、ハードディスクのヘッ ドが、探しているデータのある位置に達して、読 み書きを行うまでにかかる時間である。たとえば、 プログラムがハードディスクから1バイトのデー タの読み出しを要求したとき、その直前にその対 象の1バイトのデータが読み書きヘッドの下を通 過したばかりだったら、ディスクはそのデータを 読むたのにもう1周回転しなければならない。読 み書きヘッドがいつディスクにアクセスする必要 があるか予想できない場合、ディスクのヘッドが 必要なデータのある位置へ達するまでに、平均し て半回転する必要がある。3,600 rpm (resolution per minute) の速度の場合の通常の待ち時間は、 ハードディスクに期待できる時間としては最も短 いが、この場合、情報を取り出すのに必要な時間 は、平均8.33ミリ秒になる。コンピュータがナノ 秒という非常に短い時間で動作しているのに比べ ると、この待ち時間は実に長い。

ハードディスクの電子回路は、ディスクが 3.600 rpm の速さで回転するものとして設計されており、 また、初期のハードディスク用インターフェイス (ハードディスクをホストコンピュータに接続する ためのもの)も同様であったため、ほとんどのサー ボ制御ハードディスクは 3,600 rpm で動作するよ うになっていた。しかし、ハードディスクがこの 3,600 rpm で回転しなければならないという決ま りは特になく、現在のインターフェイス規格(AT アタッチメントや SCSI) では、開発技術者が自由 に回転速度を決めることができる。回転数が多い ほど性能がよくなるため、現在あるハードディス クの多くは、3,600 rpm 以上の速度で回転するよ うになっており、中には 5,400 rpm もの速度で回 転するものもある。この場合、3.600 rpm のドラ イブで待ち時間が8.3ミリ秒だったものが5.5ミ リ秒にまで短縮される。

しかし、ディスクの回転速度をどこまでも速く

することができるというわけではない。高速で回転すると、遠心力によって中心から離れる力が強くなるが、ハードディスクもその例外ではない。ディスクを設計する技術者は、待ち時間を短くすることと、機構が高速回転することによって自からの作用で壊れてしまわないようにすることの、2つのバランスを取らなければならないのである。

データ転送速度

ハードディスクの回転速度は、どれだけの速さでデータをドライブから連続して読み取ることができるかということに影響を与える。一定の記憶密度では、ディスクの回転数が速ければ速いほど、情報を読み取る速度も速くなる。ディスクの回転速度が高くなるにつれ、一定期間内で読み書きへッドの下を通過するディスク面上のビット数は多くなっていくからである。すなわち、ディスクの回転速度の増加は、そのままデータ転送速度の増加につながるわけだ。

情報がディスクから制御回路(この場合は、パー ソナルコンピュータ本体のこと)へ移動する速度の ことを、ドライブのデータ転送速度という。デー タ転送速度は、Mビット/秒やMHz(通常、こ の2つの数値は同じことを意味する)、あるいは M バイト/秒 (M ビット/秒の8分の1に相当す る)で表わされる。古いデバイスレベルのハード ディスク用インターフェイスがデータ転送速度を 制限していたのに対し、今日のシステムレベルイ ンターフェイスの場合は、設計者が自由にデータ 転送速度を決めることができる。ディスクの回転 を速くすれば、設計者にとって、より高い転送速 度が達成できることになる。もちろん業界の趨勢 は転送速度を上げることにある。通常、この場合 の制限要因は周波数の高さで、制御回路や、ドラ イブと電子回路をつなぐ接続ケーブルが安全に機 能する範囲内でなければならない。

21.3 ディスクの中身

ハードディスクの中で回転しているディスクは、 いろいろな意味でディスクドライブの中心的な存 在である。このプラッタの直径がどれ位の大きさ かによって、ドライブ全体の大きさが決まってく る。実際、ほとんどのハードディスクはプラッタの サイズによって分類されている。パーソナルコン ピュータが世界で初めて登場した頃、ハードディ スクのメーカーはプラッタを小型化しようと大変 な努力を行っていた。そして、プラッタの直径は 8インチから5.25インチへと小型化された。現在 主流となっているプラッタはさらに小型化された もので、デスクトップパソコン用の大容量ハード ディスクでは、大抵3.5インチのプラッタが使用 されている。また、ハードディスクの小型化が要 求されるパーソナルコンピュータ(ノートパソコン などの小型パソコン)に使用されるプラッタは、今 日では直径 2.5 インチ、1.8 インチ、さらには 1.3 インチ(現在はこれが最小)のものまで出ている。

記憶容量を増やすために1枚のプラッタは両面が使われており、両面にそれぞれ専用の読み書きへッドがある(1つはプラッタの下側にある)。また、1本のスピンドルに数枚のプラッタを取り付けているメーカーも多い。ハードディスク内のプラッタの数が増えると、記録されている情報を取り出すのに必要な時間は短くなる。プラッタの数が多くなればなるほど、いずれかのヘッドの下に探そうとしている情報が来ている確率が高くなり、情報を検索するのに必要な時間が短縮されるからだ。

しかし、プラッタの数を増やすことについては、速度が高くなるという長所と同時に欠点も伴う。プラッタを増やせば体積は大きくなり、それによって慣性力が増えるため、必要な速度に達するまでの時間が長くなるのである。デスクトップマシンの場合、このことは問題にはならない。つまり、起動時のメモリチェックの時間の方がハードディスクが必要な回転速度に達するまでの時間より長くかかるからである。しかし、バッテリを節約するためハードディスクの回転を止めるようになって

いるラップトップやノートパソコンの場合、この 余計に待たされる時間は煩わしく感じられる。ま た、プラッタの面が増えることで、それぞれのプ ラッタ用のヘッドが必要となり、ヘッドアクチュ エータの機構がより大きく、複雑になってくるの は避けられない。繰り返しになるが、慣性力が増 えることでヘッドの動きが遅くなり、ドライブの アクセス時間が長くなるのだ。もちろん、ハード ディスクメーカーはヘッドアクチュエータの体積 が増えることによる欠点を補うために、より強力 なアクチュエータを搭載するようになったが、こ れによってサイズは大きくなり、コストも高くつ いてしまっている。

プラッタの構造

ハードディスクのプラッタは、マイクロインチの誤差も出ないように計測しながら、非常に精密に組み立てられている。先に述べたように、読み書きヘッドは各プラッタから数マイクロインチの上を飛行しているため、これほど精密に作る必要があるのだ。プラッタの速度を飛行機に例えれば、パイクス山(ロッキー山脈にある山)を前にしたDC-10型飛行機のようなもので、衝突すれば飛行機と同じようにハードディスクでも大変なことになる。このため、ハードディスクのメーカーはプラッタを作る際、可能な限り平らでなめらかになるように努力している。

プラッタの基材として最もよく使われるものは アルミニウムであるが、この素材にはいくつかの 長所がある。まず、なめらかな表面に仕上げるの に比較的加工がしやすいという点である。また、 アルミは通常、不活性物質であるため、その上に コートする物質と反応することがない。さらに、 磁性を持たないため、記録するデータに影響を及 ぼすこともない。このような理由から、アルミは ハードディスクが生まれてから長らく、基材とし てよく用いられてきたが、加えて、安価である点 も大きな長所である。 アルミに代わる素材として新しく出てきたのが ガラスである。もっとも、ガラスといっても、普 通の窓ガラスに使われているようなものから、ス ペースシャトルの表面に使われているような最先 端のセラミック化合物まで、幅広く存在する。ガ ラス製プラッタを使った場合、アルミ製プラッタ と同様の品質が得られる。異なる点は、ガラス製 プラッタの方が、よりなめらかに加工できるとい うことである。しかし、プラッタの素材としての ガラスは歴史が浅く、アルミに比べて馴染みが薄 い。このため、比較的大きなメーカーでは、小さ なメーカーが製造している様子を見ながら、ガラ スを新しい素材として受け入れていく準備をして いるのが現状である。

領域密度

基材の表面がなめらかであることは、どれだけ多くの情報をプラッタ表面に詰め込むことができるかということに関係してくる。この性質を表わすために使われる用語が領域密度である。これは、プラッタ表面で、ある一定の領域内にどれだけ多くのデータを詰め込むことができるかということを表わすものである。領域密度が高くなればなるほど、プラッタ1枚あたりに記録できる情報は多くなる。ハードディスクを小さくした場合、大きな装置と同じだけの容量を得るためには、領域密度を高くする必要がある。

通常、領域密度はディスク表面における1平方インチあたりのMバイト数として表わされている。現在流通している製品では、1平方インチあたり100Mバイト~200Mバイトの領域密度となっている。

ハードディスクにおいて、領域密度に影響を及ぼす要因は数多く存在する。この場合、最も大きな要因は1ビットごとのデータを符号化する磁界の大きさである。ハードディスクのメーカーでは、より小さな磁界を作り出すことができるように、読み書きヘッドを小型化し、ざらざらしたプラッタ表面の出っ張った部分にヘッドが衝突しない程度にヘッドとプラッタの距離を狭めている。このほか、メディア自身も領域密度を決定する要因である。

酸化物メディア

ハードディスクで最初に使用された磁気メディアには、従来からオーディオテープに使われているのと同じ素材である酸化鉄や塩化鉄の化合物、基本的には、特殊なさびの微粒子が使用されていた。オーディオテープと同じように、この酸化物粒子を細かく加工し、ほかの化合物と一緒に、糊のような接着剤(潤滑剤を混ぜることも多かった)で練り合わせて使用した。この接着剤は、個々の酸化物粒子が互いに影響しないように分離する役割も持っている。そして、この泥のような混合物をプラッタの上にコーティングするのである。

酸化物を用いてコーティングをする技術はかな り以前からあり、十分な開発がなされている。こ の技術は50年以上も前から開発が続けられてお り、現在では、すっかりよく知られ、馴染みが深 く、時代遅れとさえいわれるほどの技術になって いる。最近のハードディスクでは、酸化物を使用 したメディアは使われなくなっているが、これに はいくつかのもっともな理由がある。まず、酸化 物粒子は磁気情報を記憶する役割において最善の ものとはいえない。新しいメディアに使われてい る技術と比べると、酸化物粒子を使ったものは保 磁力が弱く、個々の粒子は大きい。この2つの要 素により、酸化物メディアにおける領域密度が制 限されてくる。酸化物メディアによるプラッタは、 ほんのわずか表面が荒くなっているために、ほか のメディアを使ったなめらかなプラッタと比べて、 読み書きヘッドをプラッタからかなり離して飛行 させなければならず、これによって最大記憶密度 が下がってしまうことになる。また、酸化物コー ティングは、一般に柔らかく、その上でヘッドが 滑って止まった場合などは損傷をうけやすい。ディ スクの回転が止まったときや、ドライブに衝撃が 加わったときなどは、ヘッドがプラッタ表面に接 触することになり、ちょうどレッドバロン号に攻 撃されたように、データがヘッドによって機銃掃 射を受けることになるのだ。

薄膜メディア

最近のハードディスクではほとんどが、酸化物 コーティングの代わりに薄膜状の磁気メディアを 使うようになってきた。名前からわかる通り、このメディアでは、純粋な金属または金属の混合物を、顕微鏡で見ないとわからないほどの非常に薄い層にして用いている。この薄膜は、自動車のバンパーにクロームメッキをするのと同じようにメッキ付けする場合と、真空状態で加熱した電極から放出された金属を付着させるスパッタリング法という一種の蒸着メッキの手法を用いる場合がある。

この薄膜メディアには、酸化物メディアより優れている点がいくつかある。まず、非常に薄いため、領域密度を高くすることができるという点である。これは、磁界の厚みが増すにつれて磁界は広くなっていくのに対し、薄膜の表面が非常に滑らかであるため、ヘッドを近づけて飛行させても問題なく、したがって、磁界の厚さを薄く、つまり磁界を小さくできるからである。さらに、薄膜メディアは高い保磁力を持っているため、ディスク上のデータをエラーなしで読み取るために必要なだけの強力な磁気パルスを小さい領域内に作り出すことができる。

薄膜メディアが非常に薄く、同時に高い領域密度を達成することができる理由の1つは、クロームメッキされた自動車のバンパーや水道の蛇口と同じように、フィルムをメッキ付けやスパッタリング法で蒸着する際に、磁気の層を固定するための接着剤が必要ないということである。また、クロームメッキと同様に、ハードディスク上の薄膜は、酸化物によるコーティングと比べて何倍もの固さがあるため、ヘッドがプラッタに接触しても、自動車のバンパーと同じように、弾んで跳ね返るだけですみ、ヘッドがクラッシュすることはほとんどなくなる。

汚染

ヘッドのクラッシュは、衝撃から起こるだけではなく、メディア表面に付いた塵や大気汚染による空気中の微粒子がヘッドにぶつかり、ヘッドの飛行が不安定になることによっても発生する。ヘッドがディスクの表面に接触すると、メディアに傷が付くことがあり、その部分は記録不能になるだけにとどまらず、そのとき削られた微粒子がさらに大きなよごれ、そしてクラッシュを引き起こす

こともある。

幸いなことに、薄膜メディアや丈夫なドライブ 機構が広く普及したことで、ヘッドのクラッシュ は過去のものとなっている。ハードディスクを使 うにあたって注意を払うに越したことはないが、 普通の使い方をしている限り、もはやクラッシュ を心配する必要はない。最近のハードディスクは ほとんどが過酷な使用条件が要求されるポータブ ルコンピュータ用(操作中に移動させることを想 定してある)に設計されている。飛行機がエアポ ケットに入った場合と同じようなもので、何回か つついたぐらいではディスクは破壊されないよう になっている。

塵、髪の毛、そのほか空中を浮遊しているホコリがプラッタを汚染しないようにするために、ほとんどのハードディスクでは、内部の壊れやすい部品はすべて保護カバーに包まれている。このように保護して危険を避ける必要があるのは、ほとんどのパーソナルコンピュータ用のハードディスクに使用されているメディアは交換できないためである。

ディスクの保護カバーは空気の出入りまで完全 に密封しているわけではない。普通は小さな通気 孔が作られており、ディスク内の気圧が外の気圧 の変化に対応できるようになっている。この空気 の出入り口は非常に小さなもので、塵などは、こ の通気孔に付けられたフィルタによってくい止め ることができる。しかし、顕微鏡で見るほどの微 細な粒子、たとえば、空気中の腐食性粒子などの 場合は、このフィルタをも通り抜けてしまうこと があるため、これによってディスク表面が損傷す る可能性がある。実際、このような形で汚染物質 が入り込んでくる可能性は少ないが(ドライブ内 部と外部の気圧が等しい限り、空気の流れは発生 しないため)、ハードディスクを使う際は汚染され そうな場所で操作はしないのが最善策といえる。 もっとも、そのような場所でハードディスクを使 いたいと思う人はいないだろう。

リムーバブルメディアドライブ

リムーバブルハードディスクでは、ハードディ スクのプラッタがプラスチック製のカートリッジ に納められており、ドライブ機構の中から引き出して、ほかの場所に保管しておくことができる。また、別のプラッタをドライブに差し込むことで、ちょうどフロッピーディスクのようにメディアを交換することができる。

このような着脱可能なプラッタを外気と完全に 遮断することは、実際には不可能である。このため、リムーバブルメディアドライブのメーカーでは、このような製品には特に丈夫なメッキ処理を施したメディアを使用しており、ヘッドのクラッシュによる損傷に対し、より強いものをと心がけている。通常の場合でも、プラッタが回転を始めるときに外気中の汚染物質を吸い込んでしまうため、それに対する対策を講じる必要がある。

加えて、リムーバブルメディアの場合、ヘッドアクチュエータも丈夫にしておく必要がある。これは、ヘッドがプラッタからかなり離れた位置(これによりプラッタは安全な形でドライブに抜き差しができる)から、非常に近接した位置(プラッタに十分接近しないと読み書きできない)まで動くようにしなければならないためである。このように、作りを頑丈にすることによって、最高速のハードディスクと比べると構造上どうしても遅くなってしまうため、リムーバブルハードディスクは平均

アクセスタイムが遅いという欠点を持っている。

そこで、この問題を解決するべく登場したのが、モータ、プラッタ、ヘッド、アクチュエータ、保護カバーのすべてが1つに合体して着脱式カートリッジに納められた、一体型ドライブ機構である。この方式のドライブは、リムーバブルメディアドライブの中でも圧倒的に安全性が高い。さらにこのドライブでは、普通のハードディスクと同じような構造にできるため、汚染の可能性は小さく、クラッシュをそれほど心配しなくてもよいだけでなく、スピードも速い。現在のところ、このドライブで唯一の欠点といえば、価格が高いということである。

さらに新しい方法として現れたのが、3.5 インチドライブを着脱式ユニットに変えてしまうハードディスクキャリアである。このキャリアは2つの部分からできている。1つはパーソナルコンピュータのドライブ取り付け部にずっと取り付けたままとなるマウント(台座)部で、もう1つがハードディスクを取り付けるキャリア自身である。キャリアがマウント部を出入りする仕組だ。パーソナルコンピュータを立ち上げる前にハードディスクを差し込んでおき、使用後はそれを抜いて安全な場所に保管しておくという使い方をする。

21.4 読み書きヘッド

ほとんどのハードディスクドライブでは、プラッタは別にして、内部で唯一の可動部分といえば、ヘッドシステムということになる。ほとんどすべてのドライブで、各プラッタの両面にそれぞれ読み書きヘッドが付いており、プラッタ表面のすぐ上かすぐ下を飛行している。それぞれの読み書きヘッドは、飛行する部分を支える丈夫なアームに、柔軟性を持たせて取り付けてある。通常、これらのいくつかのアームによって1つの可動ユニット(普通は一点を中心に弧を描くように動く)が形成されている。

ディスクとヘッドの距離による影響

読み書きへッドとディスクの距離は、ハードディスクの最大記憶容量を決定する要素の1である。磁界は距離が離れるに従って広がっていくため、ヘッドがディスク(プラッタ)から離れるに従って、ディスク上の磁束遷移により形成される磁界の大きさは、より大きくなっていく。逆に、ヘッドがディスクに近づくに従って、磁界の大きさが小さくなるため、このようにヘッドをディスク表面に接近させることでディスクの容量(領域密度)を高めることができる。1980年代で最も優れたハードディスクでは、このディスク表面からヘッドまで

の距離は 10~12 マイクロインチであった。最近 のものでは、この距離が 5 マイクロインチにまで なっている。このようにヘッドとディスクの距離 が近くなったことは、プラッタの表面がなめらか になってきたことや、なめらかな薄膜メディアが 現れたことの恩恵である。

コンタクトメディア

磁界は距離が離れるに従って広がる性質があるため、読み書きヘッドがプラッタ表面へ近づくにつれて、形成される磁界の焦点が1点に定まり、ヘッドがより小さな領域を読み書きすることができる。ヘッドの飛行位置をプラッタに近づけることで、ハードディスクの記憶能力を高めることができるということは前述のとおりだ。

この場合の距離の限界は0ということになる。 プラッタからの距離がりということは、ちょうど 曲技飛行のパイロットが空を飛んでいるのと同じ ように、危険と隣り合わせで飛行することだ。飛 行機が低空飛行する場合に、木々や家畜、そのほ かもろもろの障害物とぶつかる危険があるのと同 様に、ハードディスクでヘッドがプラッタへ極め て接近して飛行する場合も、これと似たような危 険が連続して起こる。ヘッドとプラッタ表面との 間にまったく距離がない場合は、摩擦というさら に大きな問題とぶつかることになる。この場合、 ヘッドは常にプラッタ表面をこすり続けるため、 摩擦による磨耗が生じる。この場合、プラッタ側 がすり減るにしても、ヘッドがすり減るにしても 結果は同じで、ハードディスクは使えなくなって しまう。

このような問題はあっても、ヘッドとプラッタの間で最も理想的な距離は 0 である。そこでハードディスクのメーカーは、この摩擦という問題の解決方法を見いだした。粘性のある液体をヘッドとプラッタの間の潤滑剤にするのである。この結果、ヘッドは飛行するというよりは泳ぐといった形になり、この粘液でヘッドとプラッタ両者の摩耗を防ぐことができる。この何年かの内に、このコンタクトディスクが従来のヘッドが飛行する形の設計に取って代わるのではないかと期待されている。

ヘッドアクチュエータ

読み書きへッドはハードディスク上の情報をアクセスする役割がある。もしこのヘッドがテープレコーダのヘッドのように、位置が固定されていた場合、ディスク上のほんの狭い範囲の情報しか読み取れなくなってしまう。ヘッドだけでなく、ヘッド周辺の部品も動けるようにすれば、ハードディスクにおける記録可能な領域を十分に使うことができる。ヘッド部分全体を動かす機構をヘッドアクチュエータと呼んでいる。通常、ヘッド部分はピボット式で、特別なヘッドアクチュエータ用ソレノイド(筒型コイル)またはモータによってディスクを横切るように動く(一点を中心にして弧を描くように動く)。

最近のヘッドアクチュエータでは、ハードディ スクの容量を高める役割も持たせて設計がなされ ている。ヘッドアクチュエータの精度を高めるこ とで容量を増やすのである。ハードディスクのシ ステムにおいて、記憶するデータの限界密度を決 定する最も重要な要素は、1ビットごとの情報を 記録するディスク表面上で、どれだけ精密かつ連 続してヘッドの位置決めができる機構を持ってい るかということだ。この機構が精密になればなる ほど、情報の記録密度は高くなる。ハードディス クに、より性能の良いヘッドアクチュエータを使 うことで(同時に、プラッタが丈夫で、ぐらつくこ とはないという安定性を持っている必要がある)、 安定性と正確さを持った記憶環境ができ、より高 い密度で安心して情報を詰め込むことができるよ うになる。

ヘッドアクチュエータのタイプ

ヘッドアクチュエータは電気的かつ機械的システムの一部分であり、ここにはヘッドの動きを制御する電子回路も内蔵されている。ハードディスクに使用されている電子システムは、開ループ型と閉ループ型の2つのタイプに分けることができる。開ループ型のシステムは、現在のハードディスクには使われなくなってきたが、ハードディスクが発展してきた歴史の中で重要な役割を果たしている。XTやATに使われたディスクは開ループ型のシステムが基本になっていた。

ハードディスクの機構のタイプは、この開ルー プ型と閉ループ型の設計技術と関係がある。ほと んどの開ループシステムではバンドステッパ技術 が用いられていた。一方、今日の閉ループ型ハー ドディスクはサーボボイスコイルアクチュエータ を使用しているのが一般的である。このループが 開型か閉型かということは、単に、アクチュエー タを制御してヘッドの位置を決定することを、直 接フィードバックするかどうかということを表わ しているに過ぎない。開ループ型のシステムでは 直接のフィードバックはなく、アクチュエータが ヘッドを動かした後は正しい位置へ行ってくれる ことを期待している。一方、閉ループ型のシステ ムでは、読み書きヘッドがプラッタ上で位置決めを する際のフィードバックがなされる。したがって、 閉ループ型のドライブでは、プラッタ上でヘッド をより正確な場所へ位置決めすることができるた め、記憶密度もより高くすることができるわけだ。

バンドステッパアクチュエータ

バンドステッパアクチュエータの基本原理は、 フロッピーディスクのヘッドを動かしている機構 と同じものである。通常、バンドステッパアクチュ エータにはステッパモータを使用し、ヘッドを動 かす力を作り出している。ステッパモータとは特 別な形の直流モータで、連続回転する代わりに、 制御回路からのパルス信号に対応して、断続的に 回転する。バンドステッパシステムの電子回路か ら、ある一定数のパルス信号が送られると、それ を受けてステッパモータがその数だけ回転する。 バンドステッパの "バンド"とは、モータの回転軸 に取り付けてヘッドを直線運動させるための薄い ひも状の金属のことを指している。制御回路から 出される1つのパルス信号によってヘッドはハー ドディスク上で1トラック動く。この方式のアク チュエータでは、確実にパルス信号をモータへ送 る必要があるため、それによってアクチュエータ の速度は制限を受ける。

バンドステッパ方式で設計上の長所を上げると すれば、制御回路が簡単であるということと、デー タを記憶するのにプラッタの各面をすべて使用で きるため、記憶容量が多くなるということである。 欠点は、実際のステッパモータの設計において、トラック数の制限を受ける(前述の通り、1ステップにつき1トラック)ということである。また、各パルス信号はアクチュエータによってひとつひとつ認識される必要があり、エラーが起きることも考慮しておく必要があるため、ヘッドが動くことのできる(そしてデータを見つける)速度も制限を受ける。最近の精密な電子技術のもとでは、制御回路の簡単さは長所とはならなくなり、また、新しい設計方法によって領域密度が向上したため、プラッタの表面の1つが使用できなくても、大きな記憶容量を実現することができる。この結果、バンドステッパ方式のハードディスクは時代遅れのものとなり、大きなメーカーで新しく作られる製品には、この技術はもはや使われなくなっている。

サーボボイスコイルアクチュエータ

閉ループ型のシステムでは、ディスク上でヘッドがどの位置にあるかという情報を常時知ることができるため、ヘッドの位置は正確に把握されている。このシステムでは、サーボ面と呼ばれるプラッタの1面が特別に用意されており、これを常に読み取ることによってヘッドの位置を決定している。このサーボ面には特別な磁気パターンが記録されており、これを利用することでドライブ機構がディスク上での記録位置を識別するようになっている。

閉ループ型のアクチュエータシステムでは、拡声器のボイスコイル (名前の由来もここから来ている) のように働くボイスコイル機構が使われている。この設計では、電子回路を制御することでワイヤ (ソレノイド) でできたコイルに磁界が発生し、この磁界によってスプリングとは逆の力が生まれ、ヘッド機構を引っ張るようになっている。コイル内の電流が変化することで、ヘッド機構はアンカースプリングから引っ張られ、ヘッドはディスク上を横切って動くことができる。この設計では、ボイスコイル機構は直接ピボットアーム (1点を中心に動かすためのアーム) に接続されており、このアームはプラッタ上の読み書きヘッドを支えている。ボイスコイルから発生する力を変化させることで、プラッタ表面で放射状にヘッドを動か

すわけだ。

閉ループ型の性質により、このサーボボイスコイルによるシステムでは、ヘッドが動いてディスク上の位置を決める際の手順を細かく算出する必要はない。このシステムでは、何ミリ秒という短い時間で、サーボ機構からの情報に基づき正確な位置合わせができるため、ヘッドはほぼ正確な位置へ素早く到達することができるのだ。このように閉ループ型の位置合わせを採用すると、高速でトラック密度も高くできるため、大手のハードディスクメーカーではこの方式を採用するのが主流となっている。

デュアルアクチュエータドライブ

サーボボイスコイル機構においても、物理法則に従わないわけにはいかない。あるトラックから別のトラックへすぐ動くということはできないため、ヘッドがある特定の情報を探す場合、どうしてもわずかな遅れは生じる。ハードディスクの性能が高くなるように開発していく上で、1つの大きな目標としている問題が、この待ち時間を短縮するということである。ハードディスクのメーカーでは、ヘッド周りの部品の体積を減らす(これによって慣性力が小さくなり、動きが素早くなる)ことで、従来の機構を改善しようと努力を続けてきた。しかし、飛躍的にスピードを向上させるためには、思い切った変更をする必要がある。

従来型の設計から抜け出し、このような試みを最初に行ったのが、Conner Peripherals の手によるデュアルアクチュエータハードディスクであった。Conner 社の設計では、1つのプラッタにつき1つのヘッドを配置するのではなく、1つのプラッタにつき2つのヘッドを用い、それぞれのヘッドには独立したアクチュエータを付ける。2つのヘッドはどちらもプラッタの全面を走査することができる。これに適切な制御回路が加われば、この機構で待ち時間は半分になり、連続した読み書きのためにヘッドが移動することによって課されていた遅れから解放することができる。

これはつまりこういう仕組みだ。ディスクの正 反対の位置に2つのヘッドを配置する。ドライブ を制御する回路が、どちらのヘッドが読み書きに 使用するデータと近い位置にあるかを判断すれば、 どちらか一方のヘッドが必要なデータへ到達する のに、プラッタの回転は半分以下ですむ。したがっ て、回転に要する待ち時間は半分に短縮されるこ とになる。

読み書きの指示が連続して行われる場合、この2〜ッド方式のシステムでは、アクセスに必要な待ち時間を効果的に短縮できる。一方のヘッドがシーク動作をしている間に、もう一方のヘッドが読み書きできるため、次の動作へ移る用意がいつもできている状態になるのだ。ただし、この技術は、現在使われているDOSのバージョンでは使えない。これは、DOSを使用する場合、1つの指示を出した後はそれが完了するまで次の指示は出せないためである。DOSよりも進んだオペレーティングシステム(Novell NetWare など)の場合は、この設計の利点を完全に活かすことができる。

ランディングゾーン

ハードディスクはスイッチを切ったときが最も クラッシュの可能性が高い。コンピュータのスイッ チを急に切った場合、ハードディスクのプラッタ は回転を止めなければならず、このときヘッドを 浮かせていた気流も止まってしまう。通常の場合 は、この気流は徐々に弱くなっていくため、ヘッ ドもゆっくりと下に降りることができ、飛行機が 着地するようにディスクメディア上に着地する。

しかし実際は、ヘッドがメディア上に着地することは、制御下にあるクラッシュともいえる。このため、薄膜メディアタイプのハードディスクを含め、ほとんどのハードディスクで、データの記録されていないランディング(着地)ゾーンが特別に設けられている。このランディングゾーンは通常、データを記録するエリアのどちらか一方の端に設けられている。

パーク&ロック機能

通常、ディスクの回転が止まる際には、ヘッドをプラッタのランディングゾーンに降ろし、そのヘッドを保持するソフトウェアのコマンドが必要である。このプロセスのことをヘッドパーキングという。ドライブによっては、いつスイッチがオ

フにされても、ディスクの回転が止まる前に、ヘッドが自動的にランディングゾーンへ退避できるようになっているものもある。

しかし、ハードディスクのスイッチをオフにし、 読み書きヘッドが正しくランディングゾーンへ降 りたとしても、クラッシュの危険がまったくない わけではない。ヘッドがランディングゾーンへ降 りても、それが表面で跳ね返って、もろい記録面 の上へ降りた場合などは、システムに衝撃を与えることになる。このような事故を防ぐため、電源をオフにしたとき、ランディングゾーンでヘッドの位置が固定されるようにしたハードディスクが増えつつある。この機能は一般に自動パーク&ロック機能と呼ばれている。最近のハードディスクではほとんどがこのパーク&ロック機能を採用している。

21.5 ディスクのジオメトリ

ハードディスクの機構とコントローラと操作するソフトウェアの組み合わせによって、プラッタ上でデータがどのように並べられるかが決められる。頻繁に交換して使用するフロッピーディスクとは違って、ハードディスクの場合はメディアがドライブ機構の中に常時組み込まれた形で使用されるため、特定の規格に合致させる必要性がない。ハードディスクではプラッタをドライブ機構の中から取り出すことができないため(缶切りや釘抜きを使って中身を取り出すというなら話は別だが)、メディアの互換性は必要ないのである。したがって、ディスク上でデータが物理的にどう並んでいるかはハードディスクの設計者だけが知っていることになる。

しかし、ハードディスクの設計者がなんでも自由に設計できるというわけではない。DOSやIBMのハードウェア規格との互換性を保たなければならないという制約がある。ある特定のディスクパラメータは、完全な互換性のために正しい値に設定しなければならない。これは1つの障害といえるのだが、これを乗り越えるためにどれだけの努力が必要かということを正確に計算する電卓を持った技術者もいるのだ。今日の進んだドライブの制御回路のもとでは、設計者は幅広い選択肢の中からパラメータを選ぶことができる。パーソナルコンピュータの規格に合致しないパラメータを選んでも、制御回路がコンピュータをだまして、ルール違反であることがわからないようにするのであ

る。したがって、パーソナルコンピュータ側には、ハードディスクが IBM 規格に完全に準拠しているように見えるが、ドライブの中で何が起こっているかは設計技術者にしか関係ない。

このパラメータがごまかしであることを理解するためには、最初にハードディスクドライブがデータを記憶する際のビットの配置法について若干の知識を持たなければならない。ハードディスクが実際にデータを配置する方法は、「ドライブのジオメトリ」と呼ばれ、ドライブをインストールする際に使用するセットアップパラメータを決めるものだ。

トラック

ハードディスクで使用されている磁気メディアやヘッドアクチュエータの種類にかかわらず、読み書きへッドは、データを読み書きするときは必ず、ディスク面上での水平方向の動きを止めなければならない。ヘッドが静止している間、プラッタはその真下で回転するのである。プラッタが1回転するごとに、ヘッドはその表面を1周分トレースすることになる。この1周分で描かれる円をトラックという。

シリンダ

各プラッタに取り付けられたヘッドはそれぞれ別のトラックをトレースする。ヘッドアクチュエータがある一定の位置にあるとき、各ヘッドがトレー

スしているトラックを全部合わせると、シリンダ (円筒)の形になっているため、この垂直方向に見たトラックの集合をしばしば**シリンダ**と呼んでいる。 通常、パーソナルコンピュータのハードディスクでは、シリンダの数は 312 から 2,048 である。 しかし、実際に使用できる数はそれより少ない。 シリンダの数はサーボ面に描かれた磁気パターンにより、ドライブを製造した時点で決まっている (利用者が変更することはできない)。

セクタ

ほとんどのハードディスクでは各トラックを、セクタと呼ばれるさらに短い弧に分割している。セクタはドライブにおける基本の記録単位である (DOS では、いくつかのセクタをまとめてクラスタと称し、ファイルを記憶する上での基本単位としている)。セクタは、ソフトセクタである場合とハードセクタである場合があり、前者の場合は、トラックに書き込まれるデータの中に埋めこまれたビットパターンによって、磁気的にマークが付けられ、ハードセクタの場合は、ドライブ機構によって設定される。

ソフトセクタはローレベルフォーマットのプロ グラムによって書き込まれるが、その数は、フォー マットをするソフトウェアとディスクに接続して あるインターフェイスに従って、ほとんど任意に設 定することができる。DOSやOS/2はどのバー ジョンでも、ハードディスクの標準構成は、1セ クタにつき 512 バイトとなっている。ST506 イン ターフェイスや MFM のデータ符号化方式を使っ たドライブでは、各トラックは17セクタにほぼ決 まっている。これが RLL に移行すると、セクタ数 は25または26となる。ESDIドライブの場合は 1トラックが34セクタとなっている。ATアタッ チメントや SCSI ハードディスクの場合は、ほと んどがトラックごとのセクタ数を任意に決めるこ とができる。この場合、内側のトラックから外側 のトラックまでセクタ数を変化させて定めること さえ可能になっている。

従来型のハードディスクでは、どのトラックも セクタの数は同じであるが、これは以前あったほ とんどの記録方法が等角速度記録であったためで ある。この技術では、ディスクの回転速度が固定されており、したがって、ヘッドがどのトラック上にあるときでも、常に同じ中心角度で描かれた長さの弧 (セクタ) がトレースされる。この場合、実際の弧の長さはヘッドがどの位置にあるかによって変化する。つまり、ディスクの中心から遠く離れたトラックにあるセクタは、内側よりより長いことになる。しかし、外側のセクタのほうが長いといっても、内側の短いセクタと比べて、記録する情報量は同じである。角速度が一定の装置は、ディスクの回転速度が一定にできるため、製造が易しい。昔のレコードプレーヤなどが、等角速度記録の良い例であろう。その黒い円盤は毎分33回転、45回転、78回転という一定の速度で回転していた。

これに代わるより効果的な技術が等線速度記録方式である。この方式では、読み書きヘッドが内側から外側へ移動するのに従って回転速度が変化し、ヘッドの下を等しい長さのトラックが通過するようになっている。この方式では、ヘッドがディスクの外側のトラックに進むに従って回転速度を落とすため、等角速度記録方式より多くの情報を各トラックに記録できる。その性質から、オーディオ用のCDなど、多くの情報を詰め込む必要のあるメディアにおいては、この等線速度記録が採用されている。

しかし、この等線速度記録方式はハードディスクには適していない。ディスク上で正確に読み書きするためには、正確な速度で回転させる必要があるためだ。ハードディスクでは、ソフトウェアの要求に従い、外側のトラックから内側のトラックへと急に飛ぶということも普通に起こる。これに合わせてディスクの速度を変化させるとなると、慣性力が影響し、変更に要する時間が長くかかり、平均アクセス時間が跳ね上がってしまうことになる。

ゾーンビット記録方式はこの問題を解決するものである。ディスクの回転速度は一定に保たれているが、その制御回路によって、ディスクの外側へ行くに従い、より多くのセクタに分割できるようになっている。ただし通常この方式は、馴染みのソフトウェア(DOSやフォーマットプログラム)上では使うことができない。これらを使う場合、

全トラック上には同じ数のセクタがなければならないからである。このディスクのインターフェイスはドライブに組み込まれているため、ドライブの物理的なフォーマットはソフト側ではまったく知ることはできない。ディスクの制御回路がこのドライブ特有のフォーマットを従来のディスクドライブに近いように変換するのである。

現在、このゾーンビット記録方式は特許によって制限を受けているため、この方式の製品を作っているメーカーはほとんどない。さらに、これを使った装置は非常にインテリジェントなインターフェイスを必要とし、容量を増加させることはできるが使用するのは難しいため、小型のドライブに使われることは少ない。

ライトプリコンペンセーション

等角速度記録方式には、さらにもう1つ欠点がある。中心のスピンドルに近づくに従って、データをより狭い場所に入れる必要があるため、記録メディア上に磁気粒子をこれ以上ないほど詰めて記録することになる。多くの磁気メディアでは、磁束遷移のある場所があまりにも狭すぎると、磁束遷移を保持する能力が落ちてしまう。このように詰め込みすぎた場合、磁界は弱くなり、読み書きヘッドへ流れる電流も弱くなってしまう。

この問題を解決する1つの方法として、セクタが中心のスピンドルに近づくに従って、より強い磁界で書き込むという方法がある。読み書きヘッドが中心に近づくに従って強い電流で書き込むと、強い磁束遷移を作ることができる。こうすれば、読み取り時には読み書きヘッドに強い電流を流すことができる。

この処理では、ディスクに情報が記録される前の段階で、書き込み時の電流を中心に近づくに従って強く補正することから、ライトプリコンペンセーション(書き込み補償機能)と呼ばれている。

シリンダ数の限界

ハードディスクの設計者は製品を作る際に使用するジオメトリを自由に決められるわけではない。 パーソナルコンピュータの設計によってハードディスクのジオメトリも決まってくる。特に、IBM が 最初に設計したシステムによって決まっていることが多く、ほかのメーカーは互換性を維持するため、それに合わせている。ハードディスクについては、IBMのハードウェアやソフトウェアが対応するように、ファイルアロケーションテーブルのエントリのサイズや数、シリンダ数が IBM によって厳しく制限されたのである。

第一世代の AT やその互換機の時代まで、ハードディスクにおけるシリンダ数は最高 1,024 本であった。この 1,024 本という限界値は、システムのハードウェアおよびソフトウェアのすべてによって強制されたものである。 DOS 側もハードディスクのコントローラ側も、1,024 という制限を越える部分にはまったく対応しない。たとえハードディスクにシリンダが 1,024 本以上あったとしても、最初の 1,024 本にしかアクセスできないのである。

最近のハードディスクは、直径 3.5 インチのもので厚さが1インチといったように、ドライブの厚みを薄くする傾向にあるため、このようにシリンダ数に制限があることは厳しい問題である。ヘッドの入る場所が狭いということは、ドライブ内で重ねることのできるプラッタの数も少なくなるということである。したがって、このように狭い場所でより多くのデータを記録するには、各プラッタ上でより高密度に情報を記録するしかない。これはすなわち、シリンダ数を増やすことを意味する。

ソフトウェアドライバがあれば、DOSの初期バージョン (3.3 以前) が多くのシリンダ数は扱えないという点は改善できるが、すべての PC や XTのコントローラは、1,024 本以上のシリンダにはアドレスできない。このハードウェア側の制限は、Western Digital の WD1002 シリーズのコントローラもしくは互換コントローラを使用している AT やその互換機にも及ぶが、WD1003 シリーズからは、この制限はなくなった。ただし、このコントローラを搭載したディスクを十分に活用するためには、これに加えてドライバや DOS の新しいバージョンも必要である。

トランスレーションモード

ハードディスクのメーカーは、この問題を解決 するためのより良い方法として、セクタのトラン

スレーションまたはトランスレーションモードと いうものを考え出した。これは、基本的には、ハー ドディスクがそのジオメトリをある配列から別の 配列へ翻訳(トランスレーション)することである。 たとえば、ドライブが 2,048 本のシリンダと3つ のヘッドを持っていたとしても、ドライブの制御回 路は、ドライブにはシリンダが1,024本しかなく 代わりにヘッドを6つ持っているかのように応答 できるため、制限内でうまく動作できるのである。 このトランスレーションはドライブ自身で行うた め、ユーザーもシステム側も、物理的なヘッドやシ リンダの配列が実際どうなっているかを気にする 必要はない。セクタのトランスレーションは、ディ スクコントローラのすべての面の制御権が完全に ディスクの設計者に与えられているような、イン ターフェイス (AT アタッチメントや SCSI など) が組み込まれたドライブで、最も効果的に働く。

2、3のメーカーは、このトランスレーションという方法をもう一歩進めた。ドライブでトランスレーションができるだけでなく、最終的な配列に柔軟性を持たせ、どの方法が最善であるかをドライブ自身が決定できるのである。たとえば、SeagateのATアタッチメントドライブの中には、システムをチェックし、そのシステムが期待しているジオメトリを判断し、その後、ドライブはカメレオンのようにその構成へと姿を変えることができるものがある。

アドレスの限界

DOSのバージョン 4.0 以前では、ディスクに対して1つの単位としてアドレスできる最大値は32M バイトに制限されていた。現在でも、以前のソフトウェア(特にハードディスクユーティリティ)との互換性を保つため、多くの人々が32M バイトというパーティションと容量に固執している。

この制限は、IBM と Microsoft がファイルアロケーションテーブルとして定めた空間と、それぞれのクラスタに割り当てられたセクタの数から発生している。DOS では通常、4 つのセクタから成るクラスタ単位にファイルを分割する。この場合、ファイルアロケーションテーブルを使用して、どのファイルがどのクラスタから成っているかが

記録される。DOS がアドレスできるクラスタの数は、ファイルアロケーションテーブル全体のサイズと、テーブル中の各エントリのサイズによって制限を受ける。

DOS のバージョン 3.0 以前のものでは、ファイルアロケーションテーブルの各エントリは、1 バイト半(12 ビット)で、最高 4,096 のクラスタが識別できた。DOS の初期バージョンでは、クラスタは8セクタから成っており、それぞれの合計が4,096 バイトであった。この方式では、標準的なDOS のボリュームの最大の大きさは16M バイトであった。

DOS のバージョン 3.0 以降は、各ファイルアロケーションテーブルのエントリは、ディスクの容量に従って、12 ビットまたは 16 ビットのどちらでも可能となった。16M バイト以下の小さなハードディスクでは、12 ビットのアロケーションユニットが使用されている。それより大きなハードディスクでは 16 ビットのファイルアロケーションテーブルになっており、合計 65,536 のエントリが可能となった。ファイルアロケーションテーブルの数が大きくなるに従って、クラスタのサイズは 4 つのセクタ、つまり 2,048 バイトにまで小さくなった。

しかし、DOS のバージョン 3.0 から 3.32(互換性 のため。OS/2 バージョン 1.0 も)までは、ファイルアロケーションテーブル自身のサイズを 16,384 のエントリに制限しているため、これらすべてのエントリが使用できるというわけではない。4 つのセクタからなるクラスタサイズによって決まるエントリの数によって、DOS のアドレス限界は 32M バイトに制限されている。この方式を使用すると、16,384 以上のファイルアロケーションテーブルのエントリを記録するスペースはないため、これ以上のディスクは使用不可能となる。

DOS のバージョン 4.0 の登場により、ファイルアロケーションテーブルへの割り当てが 65,536 バイトになったことで、32M バイトという限界は破られた。この変更のみで、ハードディスクの最大記憶容量は 128M バイトへと 4 倍に跳ね上がったのである。もちろん、この限界はファイルアロケーションテーブルの 16 ビットというサイズによっても制限を受ける。

バージョン 5.0 以降の DOS では、各クラスタのサイズを変更することで、128M バイトという制限を越えている。たとえば、各クラスタのサイズを4から8セクタ(2,048から4,096バイト)へ増やせば、ファイルアロケーションテーブルのエントリサイズを変更することなく、ハードディスクの最大記憶容量を効果的に倍増することができる。実際、DOS のバージョン 5.0 以前では、ハードディスクの管理プログラムは、この技術を用いて、従来の32M バイトおよび 128M バイトの限界を破っている。バージョン 5.0 では、クラスタを最高 16 セクタ(8,192 バイト)で構成できるようになっている。

この技術は優れたものであるが、やはり欠点もある。それは無駄が出るということだ。ディスクのスペースはクラスタ単位で分割されている。したがって、1つのファイル(または、特殊な形のファイルであるサブディレクトリ)がどれだけ小さくても、最低1クラスタは使用する。大きなファイルはクラスタ全体を使用するが、1クラスタを使用する。平均的には、ディスク上の各ファイルはクラスタの持つスペースの半分しか使っていない。ファイルが多いほど、無駄が生じ、また、クラスタのサイズが大きいほど、無駄が増えるわけだ。大きなファイルばかりを扱っているのでない限り、クラスタのサイズが大きくなるに従って生じる無駄は避けられない。

DOS 5.0 では、一定のディスク容量に対して、最小のサイズのクラスタを使用するような設計になっている。これにより、2,048 バイトのクラスタを用いて、1 つのユニットとして最高 134,217,728 バイトまでの容量をアドレスすることができる。8,192 バイトのクラスタでは、1 つのユニットあるいはディスクのパーティションにおける最大のサイズは 536,870,912 バイトとなる。バージョン 5.0ではより大きなハードディスクを扱うことができるが、1/2G バイト単位に分割する必要がある。

ディスクのパラメータ

プラッタ(またはヘッド)の数、シリンダの数、 そしてライトコンペンセーション処理が始まる地 点を合わせて、ディスクのパラメータと呼ぶ。こ れら3つの数字は、ハードディスクのコントローラがディスクを正しく操作するために必要なものである。

IBMのXTのような初期のコンピュータや、初期の増設用のサブシステムでは、ディスクのパラメータはROMのファームウェアの中に記録され変更できないようになっていた。このため、いずれのコントローラも制御するディスクドライブのモデルに適合している必要があった。

これに対し、2、3のサードパーティが、これより優れた手法を開発した。これらのメーカーは、ほかのモデルのディスクドライブでも同じ方法で到達できるようなディスク上の場所に、ディスクのパラメータを記録したのである。ハードディスクを立ち上げる処理の1つとして、ディスクに識別情報を読むための命令が出され、その情報をコントローラへロードするのである。これにより、コントローラはドライブを正しく走らせることができる。

IBM の AT では、コントローラへのディスクパラメータについての新しい方法が開発された。パラメータはコンピュータの CMOS セットアップメモリに記録されており、コントローラは CMOSからパラメータを読み込んだ後でドライブを走らせるのである。これと同じ方法が PS/2 シリーズで使用されている。

ESDI および SCSI 規格のドライブではドライブのパラメータはシステムに埋めこむことができる。たとえば、ESDI ドライブは、パラメータをディスク自身に書き込むことができるが、これは、その情報へアクセスするときの位置や方法が標準化されているためである(それでも、コンピュータによっては ESDI 型ドライブのディスクパラメータを知る必要があるものもある)。 SCSI はシステムレベルのインターフェイスであるため、この問題が表に出ることはない。コントローラの制御回路はドライブの一部であるため、組み合わせが不適当になることはない。

AT アタッチメントのディスクで自動トランス レーションモードにした場合、パラメータは一切 気にする必要がなくなる。システムを適切なドラ イブ容量に設定している限り、後はディスク自身 が正しいパラメータを選択してくれるのだ。 表 21-1 に、AT や同種のコンピュータで使用さ

れる一般的なハードディスクの基本的なパラメー タを示した。

表 21-1 一般的なハーディスクのパラメータ

メーカー	モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
MFM インターフェ	イス				
ALPS	DRND-10A	10	615	2	17
	DRND-20A	20	615	4	17
	DRPO-20D	20 (RLL)	615	2	26
	RPO-20A	20 (RLL)	615	2	26
Ampex	PYXIS-7	5	320	2	17
	PYXIS-13	10	320	4	17
	PYXIS-20	15	320	6	17
	PYXIS-27	20	320	8	17
Atasi	AT-3020	17	645	3	17
	AT-3033	28	645	5	17
	AT-3046	39	645	7	17
	AT-3051	43	704	7	17
	AT-3051+	44	733	7	17
	AT - 3053	44	733	7	17
	AT-3075	67	1024	8	17
	AT-3085	71 (RLL)	1024	8	26
	AT-3128	109	1024	8	26
BASF	6185	23	440	6	17
	6186	15	440	4	17
	6187	8	440	2	17
	6188-R1	10	612	2	17
	6188-R3	21	612	4	17
Bull	D-530	26	987	3	17
	D-550	43	987	5	17
	D-570	60	987	7	17
	D-585	71	1166	7	17
C.Itoh	YD-3042	44 (RLL)	788	4	26
	YD-3082	87 (RLL)	788	8	26
	YD-3530	32	731	5	17
Stedenhall the	YD-3540	45	731	7	17
Control Data	94155 - 19	18	697	3	17
	94155 - 21	18	697	3	17
	94155 - 25	24	697	4	17
	94155 - 28	24	697	4	17

メーカー	モデル	容量		シリンダ	ヘッド	セクタ
	94155 - 36	30		697	5	17
	94155 - 38	31		733	5	17
	94155 - 48	40		925	5	17
	94155 - 51	43		989	5	17
	94155 - 57	48		925	6	17
	94155 - 67	57		925	7	17
	94155 - 77	64		925	8	17
	94155 - 85	71		1024	8	17
	94155 - 86	72		925	9	17
	94155 - 96	80		1024	9	17
	94155 - 120	102 (RLL)		960	8	26
	94155 - 135	115		960	9	26
	94205 - 30	25		989	3	17
	94205 - 41	38 (RLL)		989	3	26
	94205 - 51	43 (RLL)		989	3	26
	94205 - 77	65 (RLL)		989	5	26
	94335 - 55	46		1072	5	17
	94335 - 100	83		1072	9	17
	94335 - 150	128 (RLL)		1072	9	26
CMI	CM3206	10	p.	306	4	17
	CM3426	20		615	4	17
	CM5205	4		256	2	17
	CM5206	5		306	2	17
	CM5410	8		256	4	17
	CM5412	10		306	4	17
	CM5616	13		256	6	17
	CM5619	15		306	6	17
	CM5826	21		306	8	17
	CM6213	11		640	2	17
	CM6426	21		615	4	17
	CM6426S	22		640	4	17
	CM6640	33		640	6	17
	CM7660	50		960	6	17
	CM7880	67		960	8	17
Cogito	CG-906	5		306	2	17
	CG-912	11		306	4	17
	CG - 925	21		612	4	17
	PT-912	11		612	2	17
	PT-925	21		612	4	17

メーカー		モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
Disctron		D-503	3	153	2	17
		D-504	4	215	2	17
		D-506	5	153	4	17
		D-507	5	306	2	17
		D-509	8	215	4	17
		D-512	11	153	8	17
		D-513	11	215	6	17
		D-514	11	306	4	17
		D-518	15	215	8	17
		D-519	16	306	6	17
		D-526	21	306	8	17
Epson		HD850	11	306	4	17
		HD860	21	612	4	17
Fuji	1	FK301-13	10	306	4	17
		FK302-13	10	612	2	17
		FK302-26	21	612	4	17
		FK302-39	32	612	6	17
		FK303-52	40	615	8	17
		FK305-26	21	615	4	17
		FK305-39	32	615	6	17
		FK305-39R	32 (RLL)	615	4	26
		FK305-58R	49 (RLL)	615	6	26
		FK309-26	20	615	4	17
		FK309-39	32	615	6	17
		FK309-39R	30 (RLL)	615	4	26
Fujitsu	ē	M2225D	21	615	4	17
		M2225DR	32 (RLL)	615	4	26
		M2226D	30	615	6	17
		M2226DR	49 (RLL)	615	6	26
		M2227D	40	615	8	17
		M2227DR	65	615	8	26
		M2230AS	5	320	2	17
		M2230AT	5	320	2	17
		M2231	5	306	2	17
		M2233AS	11	320	4	17
		M2233AT	11	320	4	17
		M2234AS	16	320	6	17
		M2235AS	22	320	8	17
		M2241AS	25	754	4	17

メーカー	モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
	M2242AS	43	754	7	17
	M2243AS	68	754	11	17
	M2243R	110 (RLL)	1186	7	26
	M2243T	68	1186	7	17
Hitachi	DK301-1	10	306	4	17
	DK301-2	15	306	6	17
	DK502-2	21	615	4	17
	DK511-3	30	699	5	17
	DK511-5	42	699	7	17
	DK511-8	67	823	10	17
	DK521-5	42	823	6	17
IMI	5006	5	306	2	17
	5007	5	312	2	17
	5012	10	306	4	17
	5018	15	306	6	17
	7720	21	310	4	17
	7740	43	315	8	17
Kalok	KL320	21	615	4	17
itaion	KL330	32 (RLL)	615	4	26
Kyocera	KC20	21	615	4	17
Ryocera	KC30	32 (RLL)	615	4	26
Lapine	3522	10	306	4	17
Dapine	LT10	10	615	2	17
	LT20	20	615	4	17
	LT200	20	614	4	17
	LT300	32 (RLL)	614	4	26
	LT2000	20	614	4	17
	Titan 20	21	615	4	17
	Titan 30	32 (RLL)	615	4	26
	Titan 3532	32 (RLL)	615	4	26
Maxtor	XT1050	38	902	5	17
112412101	XT1065	52	918	7	17
	XT1085	68	1024	8	17
	XT1105	82	918	11	17
	XT1120R	104 (RLL)	1024	8	26
	XT1140	116	918	15	17
	XT2085	72	1224	7	17
	XT2140	113	1224	11	17
	XT2190	159	1224	15	17

メーカー		モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
Memorex		310	2	118	2	17
		321	5	320	2	17
		322	10	320	4	17
		323	15	320	6	17
		324	20	320	8	17
		450	10	612	2	17
		512	25	961	3	17
		513	41	961	. 5	17
		514	58	961	7	17
Micropolis	Q.I	1302	20	830	3	17
		1303	34	830	5	17
		1304	41	830	6	17
		1323	35	1024	4	17
		1323A	44	1024	5	17
		1324	53	1024	6	17
		1324A	62	1024	7	17
		1325	71	1024	8	17
		1333	34	1024	4	17
		1333A	44	1024	5	17
		1334	53	1024	6	17
		1334A	62	1024	7	17
		1335	71	1024	8	17
Microscience	-	4050	45	1024	5	17
		4060	68 (RLL	1024	5	26
		4070	62	1024	7	17
		4090	95 (RLL		7	26
		HH312	10	306	4	17
		HH315	21	612	4	17
		HH330 (RLL)	33	612	4	26
		HH612	10	612	2	17
		HH712A	10	612	2	17
		HH725	21	612	4	17
		HH738	33 (RLL		4	26
		HH825	21	612	4	17
		HH830	33	612	4	26
		HH1050	45	1024	5	17
		HH1060	66 (RLL		5	26
		HH1075	62	1024	7	17
		HH1080	95 (RLL		7	26

メーカー	モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
	HH1090	80	1314	7	17
	HH1095	95 (RLL)	1024	7	26
	HH1120	122	1314	7	26
	HH2012	10	306	4	17
Miniscribe	1006	5	206	2	17
	1012	10	306	4	17
	2006	5	306	2	17
	2012	10	306	4	17
	3006	5	306	2	17
	3012	10	612	2	17
	3053	44	1024	5	17
	3085	71	1170	7	17
	3212	10	612	2	17
	3412	21	615	4	17
	3425	21	615	4	17
	3438	32 (RLL)	615	4	26
	3650	42	809	6	17
	3675	63 (RLL)	809	6	26
	4010	8	480	2	17
	4020	17	480	4	17
	5330	25	480	6	17
	5338	32	612	6	17
	5440	32	480	8	17
	5451	43	612	8	17
	6032	26	1024	3	17
	6053	44	1024	5	17
	6074	62	1024	7	17
	6079	68 (RLL)	1024	5	26
	6085	71	1024	8	17
	6128	110 (RLL)	1024	8	26
	6212	10	612	2	17
	7426	21	612	4	17
	8225	20 (RLL)	771	2	26
	8225C	21	798	2	26
	8412	10	306	4	17
	8425	21	615	4	17
	8434F	32 (RLL)	615	4	26
	8438	32 (RLL)	615	4	26
	8450	41 (RLL)	771	4	26

メーカー	モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
- / 5t T	8450C	40	748	4	26
Mitsubishi	MR521	10	612	2	17
	MR522	20	612	4	17
	MR533	25	971	3	17
	MR535	42	977	5	17
	MR535R	65 (RLL)	977	5	17
MMI	M106	5	306	2	17
	M112	10	306	4	17
	M125	20	306	8	17
	M212	10	306	4	17
	M225	20	306	8	17
	M306	5	306	2	17
	M312	10	306	4	17
	M325	20	306	8	17
NEC	M5012	10	306	4	17
	D3126	20	615	4	17
	D3142	42	642	8	17
	D3146H	40	615	8	17
	D5114	5	306	2	17
	D5124	10	309	4	17
	D5126	20	612	4	17
	D5127H	32 (RLL)	612	4	26
	D5146	40	6115	8	17
	D5147H	65 (RLL)	615	8	26
	D5452	71	823	10	17
Newbury Data	NDR320	21	615	4	17
	NDR340	42	615	8	17
	NDR360	65 (RLL)	615	8	26
	NDR1065	55	918	7	17
	NDR1085	71	1025	8	17
	NDR1105	87	918	11	17
	NDR1140	119	918	15	17
	NDR2085	74	1224	7	17
	NDR2140	117	1224	11	17
	NDR2190	160	1224	15	17
Okidata	OD526	31 (RLL)	612	4	26
	OD540	47 (RLL)	612	6	26
Olivetti	HD662/11	10	612	2	17
	HD662/12	20	612	4	17

メーカー	モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
	XM5210	110	612	4	17
Otari	C214	10	306	4	17
	C507	5	306	2	17
	C514	10	306	4	17
	C519	15	306	6	17
	C526	10	306	8	17
Panasonic	JU-116	20	615	4	17
	JU-128	42	733	7	17
Priam	502	46	755	7	17
	504	46	755	7	17
	514	117	1224	11	17
	519	160	1224	15	17
	3504	44	771	5	17
	ID20	26	987	3	17
	ID40	43	987	5	17
	ID45	50	1166	5	17
	ID45H	44	1024	5	17
	ID60	59	1018	7	17
	ID62	62	1166	7	17
	ID75	73 (RLL)	1166	5	25
	ID100	103 (RLL)	1166	7	25
	ID130	132	1224	15	17
	ID230	233 (RLL)	1224	15	25
	V130R	39 (RLL)	987	3	26
	V150	422	987	5	17
	V160	50	1166	5	17
	V170	60	987	7	17
	V170R	91 (RLL)	987	7	26
	V185	71	1166	7	17
	V519	159	1224	15	17
Quantum	Q510	8	512	2	17
	Q520	18	512	4	17
	Q530	27	512	6	17
	Q540	36	512	8	17
Rodime	RO101	3	192	2	17
	RO102	6	192	4	17
	RO103	9	192	6	17
	RO104	12	192	8	17
	RO201	5	321	2	17

メーカー	モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
	RO201E	11	640	2	17
	RO202	11	321	4	17
	RO202E	22	640	4	17
	RO203	16	321	6	17
	RO203E	33	640	6	17
	RO204	22	320	8	17
	RO204E	44	640	8	17
	RO251	5	306	2	17
	RO252	10	306	4	17
	RO3045	37	872	5	17
	RO3055	45	872	6	17
	RO3060R	49 (RLL)	750	5	26
	RO3065	53	872	7	17
	RO3075R	59 (RLL)	750	6	26
	RO3085R	69 (RLL)	750	7	26
	RO5065	53	1224	5	17
	RO5090	74	1224	7	17
	RO5130R	114 (RLL)	1224	7	26
Seagate Technology	ST124	21	615	4	17
	ST125	21	615	4	17
	ST138	32	615	6	17
	ST138R	33 (RLL)	615	4	26
	ST1511	43	977	5	17
	ST157R	49 (RLL)	615	6	26
	ST206	5	306	2	17
	ST212	110	306	4	17
	ST213	10	615	2	17
	ST225	21	615	4	17
	ST225R	21 (RLL)	667	2	31
	ST238R	32 (RLL)	615	4	26
	ST250R	42 (RLL)	667	4	31
	ST2511	43	820	6	17
	ST252	43	820	6	17
	ST253	43	989	5	17
	ST277R	65 (RLL)	820	6	26
	ST278R	65 (RLL)	820	6	26
	ST279R	65 (RLL)	989	5	26
	ST406	5	306	2	17
	ST412	10	306	4	17

メーカー	hg/l v	モデル		容量		シリンダ	ヘッド	セクタ
VIII		ST419	1.13	15		306	6	17
		ST506		5		153	4	17
		ST11100		83		1072	9	17
		ST1106R		911 (RLL)		977	7	26
		ST1150R		128 (RLL)		1072	9	26
		ST4026		21		615	4	17
		ST4038		311		733	5	17
		ST4051		42		977	5	17
		ST4085		71		1024	8	17
		ST4086		72		925	9	17
		ST4096		80		1024	9	17
		ST4097		80		1024	9	17
		ST4135R		115 (RLL)		960	9	26
		ST4144R		123 (RLL)		1024	9	26
Shugart		SA604		5	1,1	160	4	17
		SA606		7		160	6	17
		SA607		5		306	2	17
		SA612		10		306	4	17
		SA706		6		320	2	17
		SA712		10		320	4	17
Syquest	, X	SQ225F	61.19	20	Ji-	615	4	17
		SQ306F		5		306	2	17
		SQ306R		5		306	2	17
		SQ306RD		5		306	2	17
		SQ312		10		615	2	17
		SQ312RD		10		615	2	17
		SQ312F		20		612	4	17
		SQ319		10		612	2	17
		SQ325		20		612	4	17
		SQ325F		20		615	4	17
		SQ338F		30		615	6	17
		SQ340AF		38		649	6	17
Tandon		TM244		41 (RLL)		782	4	26
		TM246		62 (RLL)		782	6	26
		TM251		5		306	2	17
		TM252		10		306	4	17
		TM261		10		615	2	17
		TM262		21		615	4	17
		TM262R		20 (RLL)		782	2	26

メーカー	モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
T	TM264	41 (RLL)	782	4	26
	TM344	41 (RLL)	782	4	26
	TM346	62 (RLL)	782	6	26
	TM361	10	615	2	17
	TM362	21	615	4	17
	TM362R	20 (RLL)	782	2	26
	TM364	41 (RLL)	782	4	26
	TM501	5	306	2	17
	TM502	10	306	4	17
	TM503	15	306	6	17
	TM602S	5	153	4	17
	TM603S	10	153	6	17
	TM603SE	21	230	6	17
	TM702	20 (RLL)	615	4	26
	TM702AT	8	615	4	17
	TM703	10	733	5	17
	TM703AT	31	733	5	17
	TM705	41	962	5	17
	TM755	43	981	5	17
	TM3085	71	1024	8	17
	TM3085R	104 (RLL)	1024	8	26
Teac	SD150	10	306	4	17
	SD510	10	306	4	17
	SD520	20	615	4	17
Toshiba	MK53FA/B	43	830	5	17
	MK53FA/B	64 (RLL)	830	5	26
	MK54FA/B	60	830	7	17
	MK54FA/B	90 (RLL)	830	7	26
	MK56FA/B	86	830	10	17
	MK56FA/B	129 (RLL)	830	10	26
	MK134FA	44	733	7	17
Tulin	TL213	10	640	2	17
	TL226	22	640	4	17
	TL238	22	640	4	17
	TL240	33	640	6	17
	TL258	33	640	6	17
	TL326	22	640	4	17
	TL340	33	640	6	17

メーカー	モデル	容量		シリンダ	ヘッド	セクタ
Vertex	V130	26		987	3	17
	V150	43		987	5	17
	V170	60		987	7	17
Western Digital	WD262	20	Trans.	615	4	17
	WD344R	40 (RLL)		782	4	26
	WD362	20		615	4	17
	WD382R	20 (RLL)		782	2	26
	WD383R	30 (RLL)		615	4	26
	WD384R	40 (RLL)		782	4	26
	WD544R	40 (RLL)		782	4	26
	WD582R	20 (RLL)		782	2	26
	WD583R	30 (RLL)		615	4	26
	WD584R	49 (RLL)		782	4	26
ESDI インターフェイス				HELE VIEW		
Atasi	AT-676	765		1632	15	54
	AT-6120	1051		1925	15	71
Control Data	94156-48	40		925	5	17
	94156 - 67	56		925	7	17
	94156 - 86	72		925	9	17
	94166 - 101	84		969	5	34
	94166 - 141	118		969	7	34
	94166 - 182	152		969	9	34
	94186 - 265	221		1412	9	34
	94186 - 324	270		1412	11	34
	94186-383	319		1412	13	34
	94186-383H	319		1224	15	34
	94186-383S	338		1412	13	36
	14186-442	368		1412	15	34
	94186-442H	368		1412	15	34
	94196-383	338		1412	13	34
	94196 - 766	664		1632	15	54
	94211 - 106	89		1024	5	34
	94246-182	160		1453	4	54
	94246 - 383	338		1747	7	54
	94316-111	98		1072	5	36
	94316-136	120		1268	5	36
	94316 - 155	138		1072	7	36
	94316 - 200	177		1072	9	36
	94356 - 111	98		1072	5	36

メーカー		モデル	容量		シリンダ	ヘッド	セクタ
71	t	94356 - 155	138		1072	7	36
		94356 - 200	177		1072	9	36
Century Data		CAST 10203E	55		1050	3	35
		CAST 10304E	75		1050	4	35
		CAST 10305E	94		1050	5	35
		CAST 14404E	114		1590	4	35
		CAST 14405E	140		1590	5	35
		CAST 14406E	170		1590	6	35
		CAST 24509E	258		1599	9	35
		CAST 24611E	315		1599	11	35
		CAST 24713E	372		1599	13	35
Fujitsu		M2246E	172	7,548	823	10	35
		M2247E	143		1243	7	64
		M2248E	224		1243	11	64
		M2249E	305		1243	15	64
		M2261E	326		1658	8	53
		M2262E	448		1658	11	48
		M2263E	675		1658	15	53
Hewlett-Packa	ard	HP-97544E	340	38-	1457	8	57
		HP-97548E	680		1457	16	57
		HP-97556E	681		1680	11	72
		HP-97558E	1048		1962	15	72
		HP-97560E	1374		1962	19	72
		HP-D1660A	333		1457	8	57
		HP-D1661A	667		1457	116	57
Hitachi		DK512-8	67	HERE-	823	5	34
		DK512-12	94		823	7	34
		DK512-17	134		823	10	34
		DK514-38	330		903	14	51
		DK515-78	693		1361	14	69
		DK522-10	103		823	6	36
Maxtor		P1-08E	969	907-	1778	9	72
		P1-12E	1051		1778	15	72
		P1-13E	1160		1778	15	72
		P1-16E	1331		1778	19	72
		P1-17E	1470		1778	19	72
		XT4170E	157		1224	7	35
		XT4175E	149		1224	7	34
		XT4179E	158		1224	7	36

メーカー	モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
1	XT4230E	203	1224	9	35
	XT4280E	234	1224	1	34
	XT4380E	338	1224	15	35
	XT8380E	360	1632	8	54
	XT8610E	541	1632	12	54
	XT8800E	694	1274	15	71
Micropolis	1352	30	1024	2	36
	1352A	41	1024	3	36
	1353	75	1024	4	36
	1353A	94	1024	5	36
	1354	113	1024	6	36
	1354A	132	1024	7	36
	1355	151	1024	8	36
	1516-10S	678	1840	10	72
	1517 - 13	922	1925	13	72
	1518 - 14	993	1925	14	72
	1518 - 15	1064	1925	15	72
	1538 - 15	872	1925	15	71
	15511	149	1224	7	34
	1554 - 7	158	1224	7	36
	1554 - 11	234	1224	11	34
	1555 - 8	180	1224	8	36
	1555 - 9	203	1224	9	36
	1555 - 12	255	1224	12	34
	1556 - 10	226	1224	10	36
	1556 - 11	248	1224	11	36
	1556 - 13	276	1224	13	34
	1557 - 12	270	1224	12	36
	1557 - 13	293	1224	13	36
	1557 - 14	315	1224	14	36
	1557 - 15	338	1224	15	36
	1566 - 11	496	1632	11	54
	1567 - 12	541	1632	12	54
	1567 - 13	586	1632	13	54
	1568 - 14	631	1632	14	54
	1568 - 15	676	1632	155	54
	1652 - 4	92	1249	4	36
	1653 - 5	115	1249	5	36
	1654 - 6	138	1249	6	36

メーカー		モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
	ń	1654 - 7	161	1249	7	36
		1663 - 4	197	1780	4	36
		1663 - 5	246	1780	5	36
		1664 - 6	295	1780	6	54
		1664 - 7	345	1780	7	54
Microscience	9	5040	46	855	3	35
		5070	77	855	5	35
		5070 - 20	86	960	5	35
		5100	107	855	7	35
		5100 - 20	120	960	7	35
		FH2777	688	1658	15	54
		FH21200	1062	1921	15	72
		FH21600	1418	2147	15	86
		HH2120	128	1024	7	35
		HH2160	160	1276	7	35
Miniscribe	21	3085E	72	1270	3	36
		3130E	112	1250	5	36
		3180E	157	1250	7	36
		6170E	130	1024	8	36
		9000E	338	1224	15	36
		9230E	203	1224	9	36
		9380E	338	1224	15	36
		9424E	360	1661	8	54
		97803	676	1661	15	54
Mitsubishi	VI.	MR5301E	65	977	5	26
NEC		D3661	118	915	7	36
		D5652	143	823	10	34
		D5655	153	1224	7	35
		D5662	319	1224	15	34
		D5681	664	1663	15	53
Newbury Da	ta	NDR4170	149	1224	7	34
1		NDR4175	157	1224	7 -	36
		NDR4380	338	1224	15	36
Priam		617	153	1225	7	36
		623	196	752	15	34
		628	241	1225	11	36
		630	319	1224	15	34
		638	329	1225	15	36
		ID120	121	1024	7	33

メーカー	man 13	モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
8	3	ID150	159	1276	7	35
		ID160	158	1225	7	36
		ID250	248	1225	11	36
		ID330	338	1225	15	36
		ID330E	336	1218	15	36
Rodime	- 2	RO5075E	65	1224	3	35
		RO5125E	109	1224	5	35
		RO5180E	153	1224	7	35
Seagate Tecl	hnology	ST1111E	98	1072	5	36
		ST1156E	138	1072	7	36
		ST1201E	177	1072	9	36
		ST2106E	92	1024	5	36
		ST2182E	160	1452	4	54
		ST2383E	337	1747	7	54
		ST4182E	160	969	9	36
		ST4383E	338	1412	12	36
		ST4384E	338	1224	15	36
		ST4442E	390	1412	15	36
		ST4766E	676	1032	15	54
		ST4767E	676	1399	15	63
		ST4769E	691	1552	15	53
Seimens		1200	174	1216	8	35
		1300	261	1216	12	35
		4410	322	1100	11	52
		5710	655	1224	15	48
		5810	688	1658	15	54
Toshiba	7 7	MK153FA	74	830	5	35
		MK154FA	104	830	7	35
		MK156FA	148	830	10	35
		MK250FA	382	1224	10	35
		MK355FA	459	1632	9	53
		MK358FA	765	1632	15	53
		MK556FA	152	830	10	35
ATA インター	フェイス					
Area		A120	124	1024	4	60
		A180	181	1488	4	60
		MD - 2060	61	1024	2	60
37	BE .	MD - 2080	80	1323	2	60
Control Data	a	94204-65	65	948	5	26

メーカー		モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
a		94204 - 71	71	1032	5	26
		94204 - 74	65	948	5	26
		94204 - 81	71	1032	5	26
		94208 - 75	60	969	5	26
		94244 - 219	191	1747	4	54
		94244 - 274	241	1747	5	54
		94244 - 383	338	1747	7	54
		94246 - 182	160	1453	4	54
		94246 - 383	338	1747	7	54
		94314 - 136	120	1068	5	36
		94354 - 90	79	1072	5	29
		94354 - 111	98	1072	5	36
		94354 - 126	111	1072	7	29
		94354 - 133	117	1272	5	36
		94354 - 135	119	1072	9	29
		94354 - 155	138	1072	7	36
		94354 - 160	143	1072	9	29
		94354 - 172	157	1072	9	36
		94354 - 186	164	1272	7	36
		94354 - 200	177	1072	9	36
		944354 - 230	211	1272	9	36
Conner	R	CP-342	40	805	4	26
		CP-344	43	788	4	26
		CP-2024	21	653	2	32
		CP-2034	32	823	2	38
		CP-2064	64	823	4	38
		CP-2084	85	548	8	38
		CP-2304	209	1348	8	39
		CP-3000	43	976	5	17
		CP-3022	21	622	2	33
		CP-3024	22	636	2	33
		CP-3044	43	1047	2	40
		CP-3102	104	776	8	33
		CP-3104	105	776	8	33
		CP-3111	112	832	8	33
		CP-3114	112	832	8	33
		CP-3184	84	832	6	33
		CP-3204/F	213	683	16	38
		CP - 3304	340	659	16	63

メーカー		モデル	容量		シリンダ	ヘッド	セクタ
		CP-3364	362	100	702	16	63
		CP-3504	509		987	16	63
		CP-3554	544		1054	16	63
		CP - 4024	22		627	2	34
		CP-4044	43		1104	2	38
		CP-30064	61		762	4	39
		CP-30084	84		526	8	39
		CP-30084E	85		905	4	46
		CP-30104	120		1522	4	39
		CP-30174E	170		903	8	46
		CP-30204	213		683	16	38
Disctec	7	RHD-20	21		615	2	34
		RHD-60	63		1024	2	60
Fujitsu	615	M2611T	45	. 19	1334	3	33
		M2612T	90		1334	4	33
		M2613T	135		1334	6	33
		M2614T	180		1334	8	33
		M2622T	330		1435	8	56
		M2623T	425		1435	10	56
		M2624T	520		1435	12	56
		M2631T	45		916	2	48
Kalok	1	KL343	42		676	4	31
		KL3100	105		820	6	35
		KL3120	120		820	6	40
		P5-125	125		2048	2	80
		P5-250	251		2048	4	80
Kyocera	7.7	KC40GA	41	TASSEL	1075	2	26
Maxtor	- 14 - 7	7040A	41	TARSALI	1170	2	36
TITULE OF		7080A	81		1170	4	36
		8051A	43		745	4	28
		LXT-200A	207		1320	7	45
		LXT-213A	213		1320	7	55
		LXT-340A	340		1560	7	47
Micropolis	_	1743-5	112	AB	1140	5	28
Wileropons		1744-6	135		1140	6	28
		1744-7	157		1140	7	28
		1745-8	180		1140	8	28
		1745-9	202		1140	9	28
Microscience	77	7040	47	ADI	855	3	36

メーカー	97	モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
1	0	7070 - 20	86	960	5	35
		7100	107	855	7	35
		7100 - 20	120	960	7	35
		7100 - 21	121	1077	5	44
		7200	201	1277	7	44
		7400	420	1904	8	39
		8040	43	1047	2	40
		8040/MLC	42	1024	2	40
		8080	85	1768	2	47
		8200	210	1904	4	39
Miniscribe	11	7040A	36	980	2	36
		7080A	72	980	4	36
		8051A	43	745	4	28
		8225AT	21	754	2	28
		8438XT	32	615	4	26
		8450AT	42	745	4	28
		8450XT	42	805	4	26
NEC		D3735	56	1084	2	41
		D3755	105	1250	4	41
		D3761	114	915	7	35
Prairietek	12	120	21	615	2	34
		240	42	615	4	34
Quantum	De	PRO 40AT	42	965	5	17
		PRO 80AT	84	965	10	17
		PRO 120AT	120	814	9	32
		PRO 210AT	209	873	13	36
		PRO LPS52AT	52	751	8	17
		PRO LPS80AT	86	616	16	17
		PRO LPS105AT	105	755	16	17
		PRO LPS240AT	235	723	13	51
Rodime		RO3058A	45	868	3	34
		RO3095A	80	923	5	34
		RO3099AP	80	1030	4	28
		RO3121A	122	1207	4	53
		RO3128A	105	868	7	34
		RO3135A	112	923	7	34
		RO3139A	112	523	15	28
		RO3199AP	112	1168	5	28
		RO3209A	163	759	15	28

メーカー	was 3	モデル	容量		シリンダ	ヘッド	セクタ
1 7 55	E-, 1	RO3259A	213	F. 150	990	15	28
18		RO3259AP	213	140	1235	9	28
Samsung	1	SHD-3101A	105	880	1282	4	40
Seagate Tec	chnology	ST125A	21		404	4	26
		ST138A	32		604	4	26
		ST157A	45		560	6	26
		ST274A	65		948	5	26
		ST280A	71		1032	5	27
		ST325A	21		615	4	17
		ST351A	43		820	6	17
		ST1057A	53		1024	6	17
		ST1090A	79		1072	5	29
		ST1102A	89		1024	10	17
		ST1111A	98		1072	5	36
		ST1126A	111		1072	7	29
		ST1133A	117		1272	5	36
		ST1144A	130		1001	15	17
		ST1156A	138		1072	7	36
		ST1186A	164		1272	7	36
		ST1201A	177		1072	9	36
		ST1239A	211		1272	9	36
		ST1480A	426		1474	9	62
		ST2274A	241		1747	5	54
		ST2383A	338		1747	7	54
		ST3051A	43		820	6	17
		ST3096A	89		1024	10	17
		ST3120A	107		1024	12	17
		ST3144A	131		1001	15	17
Teac	8	SD340-A	43	10	1050	2	40
		SD380	86		1050	4	40
Toshiba	a . *	MK234FC	106	902	845	7	35
Western Dig	gital	WD93024	20	125	782	2	27
		WD93028	20		782	2	27
		WD93034	30		782	3	27
		WD93038	30		782	3	27
		WD93044	40		782	4	27
		WD93048	40		782	4	27
		WD95024	20		782	2	27
		WD95028	20		782	2	27

メーカー		モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
		WD95034	30	782	3	27
		WD95044	40	782	4	27
		WD95058	40	782	4	27
		WDAB130	32	733	5	17
		WDAC140	42	980	5	17
		WDAC160	62	1024	7	17
		WDAC280	85	980	10	17
	ē.	WDAH260	63	1024	7	17
SCSI インター	フェイス	z e				
Control Data	17	24221-125M	110	1024	3	36
		24221 - 209M	183	1024	5	36
		94161 - 101	86	969	5	26
		94161 - 121	120	969	7	26
		94161 - 141	140	969	7	26
		94161 - 155	150	969	9	36
		94161 - 182	155	969	9	36
		94171 - 300	288	1365	9	36
		94171 - 344	335	1549	9	36
		94171 - 350	300	1412	9	46
		94171 - 375	375	1549	9	35
		94171 - 376	330	1546	9	45
		94181-385D	337	791	15	36
		94181-385H	330	791	15	55
		94181 - 574	574	1549	15	36
		94181 - 702	601	1546	15	54
		94181 - 702M	613	1549	15	54
		94191 - 766	676	1632	15	54
		94191 - 766M	676	1632	15	54
		94211 - 91	91	969	5	36
		94211 - 106	91	1022	5	26
		94211 - 209	142	1547	5	36
		94221 - 125	107	1544	3	36
		94221 - 190	190	1547	5	36
		$94221\!-\!209$	183	1544	5	36
		94241 - 383	338	1261	7	36
		94241 - 502	43	1755	7	69
		94351 - 90	79	1068	5	29
		94351 - 111	98	1068	5	36
		94351 - 126	111	1068	7	29

メーカー	モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
	94351 - 128	111	1068	7	36
	94351 - 133	116	1268	7	36
	94351-133S	116 (SCSI-2)	1268	7	36
	94351 - 134	117	1068	7	36
	94351 - 155	138	1068	7	36
	94351-155S	138 (SCSI-2)	1068	7	36
	94351 - 160	142	1068	9	29
	94351 - 172	150	1068	9	36
	94351-186S	163 (SCSI-2)	1268	7	36
	94351 - 200	177	1068	9	36
	94351 - 200	177 (SCSI-2)	1068	9	36
	94351 - 230	210	1272	9	36
	94601 - 767H	665 (SCSI-2)	1356	15	64
	94601 - 767M	676	1508	15	54
Century Data	CAST 10203S	55	1050	3	35
	CAST 10304S	75	1050	4	35
	CAST 10305S	94	1050	5	35
	CAST 14404S	114	1590	4	35
	CAST 14405S	140	1590	5	35
	CAST 14406S	170	1590	6	35
	CAST 24509S	258	1599	9	35
	CAST 24611S	315	1599	11	35
	CAST 24713S	372	1599	13	35
Conner	CP-340	42	788	4	26
	CP-2020	21	642	2	32
	CP-3020	21	622	2	33
	CP - 3040	42	1026	2	40
	CP-3100	105	776	8	33
	CP-3180	84	832	6	33
	CP-3200/F	213	1366	8	38
	CP-30060	61	1524	2	39
	CP-30080	84	1053	4	39
	CP-30100	120	1522	4	39
	CP-30200	213	2119	4	49
Fuji	FK308S-39R	31	615	4	26
	FK308S-58R	45	615	6	26
	FK309S-50R	41	615	4	26
Fujitsu	M2245SA	148	823	10	35
	M2247S	138	1243	7	65

メーカー		モデル	容量		シリンダ	ヘッド	セクタ
AT .		M2247SA	149	BALL	1243	7	36
		M2247SB	160		1243	7	19
		M2248S	221		1243	11	65
		M2248SA	238		1243	11	36
		M2248SB	252		1243	11	19
		M2249S	303		1243	15	65
		M2249SA	324		1243	15	36
		M2249SB	343		1243	15	19
		M2263HA	672		1658	15	53
		M2266HA	1079		1658	15	85
		M2611SA	45		1334	2	34
		M2612SA	90		1334	4	34
		M2613SA	136		1334	6	34
		M2614SA	182		1334	8	34
		M2622SA	330		1435	8	56
		M2623SA	425		1435	10	56
		M2624SA	520		1435	12	56
Hewlett-Pa	ackard	HP-97544S	331	HULL!	1447	8	56
		HP-97544T	331 (SCSI-2)		1447	8	56
		HP-97548S	663		1447	16	56
		HP-97548T	663 (SCSI-2)		1447	16	56
		HP-97549T	1000 (SCSI-2)		1911	16	64
		HP-97556T	673 (SCSI-2)		1670	11	72
		HP-97558T	1075 (SCSI-2)		1952	15	72
		HP-97560T	1363 (SCSI-2)		1952	19	72
		HP-C2233S	238 (SCSI-2)		1511	5	49
		HP-C2234S	334 (SCSI-2)		1511	7	61
		HP-C2235S	429 (SCSI-2)		1511	9	73
Hitachi		DK512C-8	67	(fix)	823	5	34
		DK512C-12	94		823	7	34
		DK512C-17	134		819	10	34
		DK514C-38	321		903	14	51
		DK515-78	661		1261	14	69
	<u>.</u>	DK522C-10	88	11/47/	819	6	35
Kalok		KL341	40	12T - Ey	644	4	26
Kyocera	18	KC80C	87	50 - 73	787	8	28
Maxtor		XT81000E	889	htt8(1632	15	54
		7040S	40		1155	2	36
		7080S	81		1155	4	36

メーカー	モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
	LXT-50S	48	733	4	32
	LXT-100S	96	733	8	32
	LXT-200S	191	1320	7	33
	LXT-213S	200	1320	7	55
	LXT-340S	340	1560	7	47
	P0-12S	1027	1632	15	72
	P1-08S	696	1778	9	72
	P1-12S	1005	1216	19	72
	P1-17S	1470	1778	19	72
	XT4170S	157	1224	7	36
	XT4280S	241	1224	11	36
	XT4380S	337	1224	15	36
	XT8380S	360	1632	8	54
	XT8702S	616	1490	15	54
	XT8760S	675	1632	15	54
Micropolis	1373	73	1024	4	36
	1373A	91	1024	5	36
	1374	109	1024	6	36
	1374A	127	1024	7	36
	1375	146	1024	8	36
	1488-15	675	1628	15	54
	1528-15	1354 (SCSI-2)	2106	15	84
	1576-11	243	1224	11	36
	1577 – 12	266	1224	12	36
	1577 - 13	287	1224	13	36
	1578-14	310	1224	14	36
		332	1224	15	36
	1578-15	490	1632	11	54
	1586-11				
	1587—12	535	1632	12	54
	1587—13	579	1632	13	54
	1588-14	624	1632	14	54 54
	1588-15	668	1632	15	54
	1596—10S	668	1834	10	72
	1597—13	909	1919	13	72
	1598-14	979	1919	14	72 71
	1590 – 15	1049	1919	15	71
	1673 – 4	90	1249	4	36
	1673 - 5	112	1249	5	36

メーカー	274	モデル	容量		シリンダ	ヘッド	セクタ
100	7	1674 - 7	158	203	1249	7	36
		1683 - 4	193		1776	4	54
		1683 - 5	242		1776	5	54
		1684 - 6	291		1776	6	54
		1684 - 7	340		1776	7	54
		1773 - 5	112		1140	5	28
		1774 - 6	135		1140	6	28
		1774 - 7	157		1140	7	28
		1775 - 8	180		1140	8	28
		1775 - 9	202		1140	9	28
Microscience	П	6100	110	80	855	7	36
		FH3414	367		1658	8	54
		FH3777	688		1658	15	54
		FH31200	1062		1921	15	72
		FH31600	1418		2147	15	86
		HH3120	121		1314	5	36
		HH3160	169		1314	7	3
Miniscribe		3085S	72		1225	3	36
		3130S	115		1225	5	36
		3180S	153		1225	7	36
		7080S	81		1155	4	36
		8051S	45		793	4	28
		8225S	21		804	2	26
		9000S	347		1220	15	36
		9230S	203		1224	9	36
		9380S	347		1224	15	36
		9424S	355		1661	8	54
		9780S	668		1661	15	54
Mitsubishi		MR535S	65	. 11	977	5	26
		MR537S	65		9777	5	26
NEC	le l	D3835	45	11	1084	2	41
		D3855	105		1250	4	41
		D3861	114		915	7	35
		D5882	665		1633	15	53
		D5892	1404		1678	19	86
Newbury Data	185	NDR3170S	146	11	1224	9	26
		NDR3280S	244		1224	15	26
		NDR4380S	319		1224	15	34
Priam	ň	717	153	- 8	1225	7	36

メーカー	モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
11	728	241	1225	11	36
	738	329	1225	15	36
	ID330S	338	1218	15	36
Quantum	Q160	200	971	12	36
	Q250	53	823	4	36
	Q280	80	823	6	36
	PRO 40S	42	965	5	17
	PRO 80S	84	965	10	17
	PRO 120S	120	814	9	32
	PRO 210S	209	873	13	36
	PRO LPS52S	52	751	8	17
	PRO LPS80S	86	616	16	17
	PRO LPS105S	105	755	16	17
	PRO LPS240S	235	723	13	51
Rodime	RO652A	20	306	4	33
	RO652B	20	306	4	33
	RO752A	20	306	4	33
	RO3055T	45	1053	3	28
	RO3057S	45	680	5	26
	RO3058T	45	868	3	34
	RO3085S	70	750	7	26
	RO3088T	76	868	5	34
	RO3090T	75	1053	5	28
	RO3128T	105	868	7	34
	RO3129TS	105	1091	5	41
	RO3130T	105	1053	7	28
	RO3139TP	112	1148	5	42
	RO3199TS	163	1216	7	41
	RO3259T	210	1216	9	41
	RO3259TP	210	1189	9	42
	RO3259TS	210	1216	9	41
	RO5075S	61	1219	3	33
	RRO5078S	61	1219	3	33
	RO5125S	103	1219	5	33
	RO5178S	144	1219	7	33
	RO5180S	144	1219	7	33
Samsung	SHD-3201S	211	1376	7	43
Seagate Technology	ST125N	21	407	4	26
	ST138N	32	615	4	26

メーカー	100	モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
10		ST157N	49	615	6	26
	¥ =	ST177N	61	921	5	26
		ST225N	21	615	4	17
		ST251N	43	820	4	26
		ST251N-1	43	630	4	34
		ST277N	65	820	6	26
		ST277N-1	65	630	6	34
		ST296N	80	820	6	34
		ST1090N	79	1068	5	29
		ST1096N	80	906	7	26
		ST1111N	98	1068	5	36
		ST1126N	111	1068	7	29
		ST1133NS	116 (SCSI-2)	1268	5	36
		ST1156N	138	1068	7	36
		ST1156NS	138 (SCSI-2)	1068	7	36
		ST1162N	142	1068	9	29
		ST1186NS	163 (SCSI-2)	1268	7	36
		ST1201N	177	1068	9	36
		ST1201NS	177 (SCSI-2)	1068	9	36
		ST1239NS	210 (SCSI-2)	1268	9	36
		ST1400N	331 (SCSI-2)	1476	7	62
		AT1480N	426 (SCSI-2)	1476	9	62
		ST2106N	91	1022	5	36
		ST2125N	107	1544	3	45
		ST2209N	179	1544	5	45
		ST2383N	337	1261	7	74
		ST2502N	435	1755	7	69
		ST4182N	155	969	9	35
		ST4250N	300	1412	9	46
		ST4376N	330	1546	9	45
		ST4385N	330	791	15	55
		ST4702N	601	1546	15	50
		ST4766N	676	1632	15	54
		ST4767N	665 (SCSI-2)	1356	15	64
		ST41200N	1037	1931	15	71
		ST41520N	1352 (SCSI-2)	2102	17	ZBR
		ST41600N	1352 (SCSI-2)	2101	17	75
		ST41650N	1415 (SCSI-2)	2107	15	87
		ST41651N	1415 (SCSI-2)	2107	15	ZBR

メーカー	モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
Seimens	2200	174	1216	8	35
	2300	261	1216	12	35
	4420	334	1100	11	54
	5720	655	1224	15	48
	5820	688	1658	15	54
	6200	1062	1921	15	72
Tandon	TM2085	74	1004	9	36
	TM2128	115	1004	9	36
	TM2170	154	1344	9	36
Teac	SD340S	43	1050	2	40
	SD380-S	86	1050	4	40
Toshiba	MK153FB	74	830	5	35
	MK154FB	104	830	7	35
	MK156FB	148	830	10	35
	MK250FB	382	1224	10	35
	MK232FB	45	845	3	35
	MK233FB	76	845	5	35
	MK234FB	106	845	7	35
	MK355FB	459	1632	9	53
	MK358FB	765	1632	15	53

21.6 ドライブアレイ

ハードディスク1台分の容量では不足した場合、2つの選択がある。つまり、ユーザー側のニーズを変えるか、ディスクを追加接続するかである。しかし、ユーザーのニーズを変えるということは、ユーザーの作業スタイルを変更することである。これは、ディスクからいくつかのファイルを削除してすべてのユーザーファイルへの即時アクセスをやめるとか、データ圧縮へ切り換える、あるいはバックアップファイルと開発中のプロジェクトの中間バージョンの管理を厳しくするといったことなどを意味する。もちろん、ユーザーが作業スタイルを変えることは、老犬に新しい犬小屋の場所を教え込むのと同じぐらい難しい。ネットワークサーバのアプリケーションが今日あるハードディ

スクの制限記憶容量 (1.5G バイト以上) を超えると、ネットワークサーバにとっては、作業スタイルの全体的な変更となる。例えていえば、あたかも、幼児が散らかした無数の玩具のある遊び部屋を片付けるようなものだ。つまり、使用できる容量が少ないときは、複数のディスクに分散しなければならない。大半のシングルユーザー向けのパーソナルコンピュータの場合、これら複数のドライブは、DOSの下では、それぞれ独立して動作し、個別のドライブ番号(またはドライブ番号のグループ)として扱われる。ソフトウェアを使って、このような複数のドライブシステムを、全体として同じ容量を持つ1つの大きなハードディスクをエミュレートするように、構成することもでもでき

る。DOSが一度に1つのことしか実行できないため、このような解決法が最善のものであるが、しかしこの場合、信頼性と、一瞬の間に重なった多数のユーザーのアクセスに対する最適化が課題となる。これに対して、ディスクをそれぞれ独立して動作させる代わりに、ハードウェアによってディスクをつないでディスクアレイを構成すること、すなわち、RAID(低価格ディスクの冗長連結)という名で知られる方法により、高速性、優れたエラー防止、および信頼性の向上を手に入れることができる。

ドライブアレイの前提は初歩的で、独立したハードディスクを数台組み合わせて大きな仮想システムを1台作るということである。しかし、ドライブアレイは1台のコントローラに接続された複数のハードディスク以上のものである。連結すると、ドライブが調整され、コントローラはドライブ間に情報をよく考えて割り当てる。たとえば、ドライブアレイの中には、各ドライブのスピンが同期され、1データバイトが物理的に別個の複数のハードディスクに展開されるものがある。

ドライブアレイの明らかなメリットは、複数のディスクドライブを導入する場合と同様、容量にある。2台のディスクは1台以上の容量、4台のディスクは2台以上の容量を保持できる。また、ドライブアレイ技術により大容量記憶装置の性能が急速に向上したり、信頼性が向上することもある。

データストライピング

これら2つの技術改良の秘密は、ドライブを連結する際の様々なハードディスクの組み合せ方法にある。この場合ドライブは、1台目の容量が使い切られると2台目がそれを引き継ぐという順に連結されるのではない。代わりに、データはビット、バイト、またはブロック単位でドライブに分割される。たとえば4ドライブシステムでは、各バイトの2ビットは1台目のハードディスクに記録され、次の2ビットは2台目に、という具合である。そして4台のドライブは、1バイトをデータストリームの中へ4倍の速さで送り込むことができる。1バイトすべてを転送するには、ドライブ1台が2ビットを移動させるのと同じ時間しか

かからない。あるいは、4 バイトの記憶クラスタなら、4 台の各ドライブの1 セクタを合わせて構成することができる。この複数のドライブでデータを分割するという技術は、データストライピングと呼ばれる。

このような初歩的なレベルの場合、データストライピングには重大な欠点がある。システムのいずれかのドライブにトラブルが生じると、システム全体が不良となるということである。ディスクアレイ全体における信頼性は、アレイ内の最も信頼性の低いドライブよりも低いものになってしまうわけだ。このようなシステムは、速度と容量は大きいが、それを使うリスクもまた大きいのである。

冗長性と信頼性

容量の一部を犠牲にすると、ドライブアレイは 信頼性を向上させることができ、フォールトトレ ラントな記憶システムにさえすることができる。 そのポイントは冗長性にある。連結された各ドラ イブが格納するビット、バイト、およびブロック を直線的に分割するのではなく、ドライブ間で分 割した情報を重複して記憶させるのである。

たとえば、4台のドライブシステムの場合、各ドライブが1バイトについて2ビットずつ取得する代わりに、それぞれ4ビットずつ格納する。つまり、1番目のドライブは1バイトの上位4ビットを、2番目のドライブは3、4、5、6番目のビットを、3番目のドライブは5、6、7、8番目のビットを、4番目のドライブは7、8、1、2番目のビットをそれぞれ格納する。こうすれば、あるドライブにエラーが発生しても、別のドライブから正確な情報を引き出すことができる。1台のハードディスクが完全にだめになっても、そのドライブが格納していたすべてのデータを別のドライブから再構築することができるのだ。

このようなシステムはフォールトトレラントであるといわれる。1つのフォールトは許容される、つまり、1台のハードディスクに障害が発生しても、システムは必要な機能を損なうことなく動作するということである。フォールトトレラントであるということは、ネットワークアプリケーションにおいて非常に価値がある。1台のハードディ

スクに発生したトラブルがネットワーク全体に広がらないからである。装置に大きなトラブルが生じても、惨事には至らず、迷惑程度でおさまるのである。

ここで示した例は、非常に原始的なドライブアレイで、使用できる記憶用のリソースをかなり浪費している。実際には、高度な情報の符号化により、すべてのビットを厳密に重複させる必要がなくなり、記憶装置の効率を高めることができる。その上、高度なドライブアレイでは、通常の動作を中断することなく、トラブルの生じたドライブを交換し、そのドライブに格納されていたデータを再構築することさえできる。このようなドライブアレイが導入されたネットワークサーバは、ディスクを修理するときでさえシャットダウンする必要はない。

RAID の実現方法

4台のドライブを SCSI コントローラに接続するだけでは、ドライブアレイにはならない。アレイには個々のドライブのデジタルコーディングと制御とを処理する特別な制御回路が必要である。このようなシステムの制御回路はそのメーカーに所有権が帰属している。アレイコントローラは、専用のインターフェイスまたは標準インターフェイスを経由してパーソナルコンピュータに接続されるが、SCSI 接続の選択される割合が最も多くなりつつある。現在は、ほとんどのドライブアレイはコンピュータメーカーによって自社のシステム用に組み立てられているが、パーソナルコンピュータへプラグ接続できるドライブアレイも多くなってきている。

RAID 技術では、RAID 1 から5までの5つのレベルが知られている (エンジニアが RAID 0 という言葉を使用することもあるが、これは連結されていない普通の単独のディスクドライブのことである)。

数字の部分は任意に付けられたもので、RAID 1がRAID 5より優れるとかあるいは劣っているという意味ではない。どれが最も適当かは、ユーザーがドライブアレイで何を行いたいかによって決まる。つまり、ドライブ容量を効率的に使う、ド

ライブ数を少なくする、信頼性を高める、速度を 高めるなど、ユーザーがいずれを求めるかで変わ るわけだ。たとえば、RAID 1 では優れた冗長性 (すなわち信頼性)が、RAID 2 では最高の速度が 得られる。数字はそれぞれの技術についてすぐに どれがどの方法かわかるようにした呼び名に過ぎ ない。

RAID 1

最も単純なドライブアレイがRAID1であり、これは、互いが鏡のように相手を映すまったく同じ容量の2台のディスクで構成される。1台のディスクがもう1台のすべてのファイルを複写し、実質的にバックアップコピーとして働くわけだ。1台のドライブにトラブルが生じた場合、もう1台が代役の働きをする。

この信頼性が RAID 1 技術の第一の長所である。システム全体は 1 台のドライブと同じ容量を持つ。要するに、RAID 1 システムは本来使用可能な記憶容量の 50%しか使用できず、この点では連結方法の中で最も高くつくといえる。性能はアレイコントローラの精巧さで決まる。単純なシステムでは連結されたドライブのいずれか一方の性能と同じになる。もっと高度なコントローラでは、同時に 2 台のドライブから交互にセクタを読み取ることにより、データのスループットを 2 倍にすることができる。1 台のドライブにトラブルが発生した場合、性能は 1 台の場合のドライブの性能に戻るが、情報 (およびネットワークの運用時間) を失うことはない。

RAID 2

連結の精巧さにおいて次の段階にあるのが RAID 2 で、これは、先のドライブアレイの節で述べたように、データのビットまたはブロックをインターリーブするものである。アレイ内の独立したドライブは、通常スピンドルを同期させてパラレルに動作する。

信頼性を向上させるために、RAID 2システムでは冗長性を持たせたディスクを使用して、シングルビットエラーの修正およびダブルビットエラーの検出を行う。必要となる追加ディスクの数は使

用されるエラー修正アルゴリズムで決まる。たと えば、8台のデータドライブを持つディスクアレ イなら、3台のエラー修正ドライブを使用する。 ハイエンドな32台のデータドライブアレイは、7 台のエラー修正ドライブを使用する。エラー検出 コードが付いたデータは、アレイコントローラに 直接送られ、コントローラはただちにエラーを認 識し、発生したエラーを修正する。この場合、情 報の読み取りとホストコンピュータへの転送によ る速度の遅れはない。RAID 2の設計は、ディス クエラーが頻繁に、ほとんど定期的に発生するこ とを前提としてしている。しかし、確かに、過去 には大容量記憶装置はエラー発生率が高かったが、 現在ではそういうことはなく、RAID 2 はかなり 厳しい使用状況を除けば、不必要なものになりつ つある。

RAID 2の大きな長所は性能にある。RAID 2 および RAID 3は、本格的なパラレル動作を行っているため、少なくとも単一で高速のデータのストリームを要求するシステムにとっては、最高性能の連結技術である。要するに、高いデータ転送速度が得られるのである。連結するドライブの数により異なるが、1ドライブが1ビットを読み取るのに要するのと同じ時間で、バイト全体または32ビットダブルワードでさえ読み取ることができる。RAID 2は動作中にエラー修正できるので、通常のシングルビットのディスクエラーで性能が落ちることはない。

これに対して、RAID 2の欠点は、基本的な格納単位が複数のセクタであるという点に原因がある。ほかのハードディスクと同様、アレイ内の各ドライブが格納できる最小単位は1セクタである。ファイルは各ドライブから1セクタずつ使用するため、そのサイズは数セクタ(ドライブ台数と同じ数)単位で大きくなってしまう。たとえば10ドライブアレイでは、わずか2バイトファイルでも10セクタ(5,120バイト)のディスクスペースを必要とするのである(DOSでは、4セクタのクラスタを使うため、2バイトファイルは合計で20,480バイトを占有することになる)。とはいえ、実際のアプリケーションでは、この欠点は重大ではない。なぜなら、単一ストリーム速度とRAID 2の

即時エラー修正を必要とするシステム、たとえば メインフレームなども、エラー修正は大きなファ イルを使用する傾向にあるからだ。

RAID 3

RAID 3 は RAID 2 からレベルが1つ下がる。 しかし RAID 3 でも、パラレルに動作する複数の ドライブを使用し、データのビットまたはブロッ クをインターリーブすることには変わりない。た だし、完全なエラー修正の代わりに、RAID 3 で はパリティチェックしか行わない。これは、エラー は検出できるが、回復の保証はないということで ある。

パリティチェックのみにするとアレイに追加す るドライブの数が少なくてすむ。通常はアレイご とに1台だけあればよく、比較的安価ですむ。パ リティエラーが検出された場合、RAID 3 コント ローラはアレイ全体を正しく読み取るために再度 読み取りを行う。この再読み取りによって性能上 かなりの不利益が生じる。ディスクはもう一度回 転しなければならず、データ読み取り時に17ミリ 秒の遅れが生じることになるのだ。もちろん、こ の遅延は、ディスクエラーが検出された場合にし か発生しない。さらに、最近のハードディスクは 信頼性が高いため、このような遅延はまれなもの になっている。実際、RAID 3は RAID 2と比べ た場合、めったに発生することがないわずかな性 能上の不利益を許容するだけで、ドライブ数を少 なくできるというメリットがあるのだ。

RAID 4

RAID 4では、ビットやブロックではなくセクタをインターリーブする。アレイ内のドライブは、機能的にはたくさんのヘッドとプラッタを持った1台の大きなドライブであるかのように、セクタが順次読み取られていく(もちろん、性能を上げるために、適切なバッファ機能を持つコントローラが、2つ以上のセクタを同時に読み取り、後のセクタをいったん高速RAMに格納し、前のセクタがホストに送られた後で直ちに転送している)。信頼性向上のため、アレイ内の1台のドライブはパリティチェック用に使用される。RAID 4は、2

ドライブ程度の小さなアレイが可能であるという 点が好まれて使用されているが、実際、規模の大 きいディスクアレイの方が、利用できるディスク 記憶領域を効果的に使うことができる。

専用のパリティドライブが、RAID 4 構造の最大の欠点である。RAID 4 の場合、書き込みの際は、データドライブを読み取り、パリティ情報を更新し、更新された情報をパリティドライブへ書き込んで、パリティドライブを維持している。このように、書き込みを行うたびに読み取り、更新、書き込みが繰り返されるため、速度の点では不利益が生じるが、これで読み取り動作が妨げられることはない。

RAID 4では複数のデータ要求を同時に処理できるオペレーティングシステムには、特に利点がある。インテリジェントな RAID 4コントローラでは複数の入出力要求を処理、認識し、最も効率のよい方法でドライブを読み取る。恐らく読み取りはパラレルでも行われ、たとえば、あるファイルのセクタをドライブから読み取る一方で、同時に

別のファイルのセクタを別のドライブから読み取ることもできる。このようなパラレル動作によって、このタイプのオペレーティングシステムのスループットを向上させることができる。

RAID 5

RAID 5 は、RAID 4 から専用パリティドライブを除き、パリティチェック機能がアレイ内の様々なドライブに点在することを可能にしたものである。エラーチェックはアレイ内のすべてのディスクに渡って行われる。適切に設計されていれば、十分な冗長性が組み込まれているため、システムをフォールトトレラントにすることができる。

RAID 5 は、恐らく現在使用されている中で最も人気のあるドライブアレイ技術である。その理由は、最低 2 台からどのような数のドライブでも連結させて動作させることができ、さらにその中で冗長性とフォールトトレラントを実現できるからである。

21.7 ドライブのパッケージ

ハードディスクの場合、ユーザーは、ハードウェ アの名人になって取り付けたい場所にうまく合わ せる方法を考え出す必要はない。実際、ドライブ の形状が小さくなるにつれて、そのような問題を 考慮する心配はなくなった。そしてドライブ取り 付けの問題は、小さなドライブを以前の大型サイ ズのドライブベイにうまく取り付けるという問題 に変った。しかし、ドライブの取り付けは物理的 にそう簡単なものではない。今日では、2台目(ま たは3台目以降)のドライブは、拡張し切ったパー ソナルコンピュータの限界の中に押し込まなけれ ばならなくなっている。さらに、問題は、ドライブ とドライブベイをうまく合わせることだけではな い。コントローラやホストアダプタのことも考慮 しなくてはならない。また、自分が選んだドライ ブに必要なだけの電力も確保しなければならない。

内蔵型ハードディスク

まず、ドライブは配置したい場所に収まらなければならない。したがって、ドライブはドライブベイのいずれかに合う形でなければならない。ドライブが小さい場合は、ドライブベイに合わせるためのアダプターキットが必要となる。

ハードディスクの取り付けは、フロッピーディスクドライブと同じである。しかしフロッピーディスクと違って、ハードディスクにはツマミ類やノブがなく、メディアも着脱式ではないため、前面パネルからのアクセスの必要がない。したがって、ハードディスクは完全にコンピュータの中に収めることができ、その際、ディスク前面にあるドライブ動作インジケータのランプが見えなくなるということだけが唯一の弊害となる。小型のデスクトップコンピュータの多くが、まさにこのような

取り付けになっている。1インチの厚さの3.5インチハードディスクドライブ用のスペースは、システム内の適当な場所に1枚の鉄板を折り曲げたベイを付けただけのもので、説明書もしくは十分な想像力がないと、どこに小さいハードディスクが隠れているのかわからない。今日では、ドライブはほんのわずかな量の電力しか消費しないため、ディスクの冷却を考慮した取り付け位置を探す必要はない。

ほとんどのシステムには、現在でもハードディ スク装置用として、ハーフハイトの5.25インチベ イがある。最近の3.5インチハードディスクドラ イブの場合、唯一気にしなければならないのは、 ドライブを大きなベイにマッチさせるための取り 付けキットを用意するか、もしくは、小さなディ スクを大きなベイに取り付ける何らかの方法がシ ステムに用意されているかどうかを確認すること である。たとえば、ALR タワー型コンピュータ がハードディスクドライブとフロッピーディスク ドライブ用に使用するトレイは、アダプタなしで 5.25 インチと 3.5 インチドライブのどちらにでも 簡単に対応できる。一般にレールを使用してドラ イブを取り付ける AT 方式の筐体の場合では、ア ダプタが必要になる。ドライブを直接ネジ止めす るシステムの場合、ドライブの両側がしっかりネ ジ止めされなくてもよければ、一応大きいベイに 小さなドライブを取り付けることはできる。最初 から3.5インチベイ用として設計されているシス テムに、古い5.25インチドライブを無理に取り付 けようと考えさえしなければ、ドライブ取り付け の問題は何もなさそうである。(3.5 インチ用ドラ イブに 5.25 インチドライブを取り付ける場合、最 も良い方法は丸のこぎりをドライブに当てて数イ ンチ削ることである。こうするとドライブは問題 なくドライブにはまる。ただし、この方法ではド ライブのアクセスタイムが犠牲になり、ミリ秒単 位だったものが数千年もかかるようになる。)

コンピュータ内にディスクを増設するための十分なスペースがない場合、代わりに2つの方法が考えられる。まず、増設する記憶装置が大きい場合は、ディスクドライブをケースの外へ移せばよい。この場合、増設は基本的に無限に行える。ド

ライブアレイは、複数のハードディスクを使用するため、ほとんどの場合ドライブは外部に設置される。さらに、ISAバスコンピュータの場合は、ハードディスクカードを使用する方法もとることができる。ハードディスクカードは、ディスクドライブベイではなく拡張バススロットに搭載できる専用コントローラと組み合わされた小さなハードディスクである。この外付けディスクとハードディスクカードの2について、以下の節で説明していく。

■ハードディスクの消費電力

消費電力は、ハードディスクの中で最も小さなハードディスクカードも含めて、すべてのハードディスクが抱えている問題である。ハードディスクはプラッタが常時回転しているため、ほぼ瞬時に応答できるわけだが、これには1つだけ欠点がある。つまり、パーソナルコンピュータが読み書きをしていないときでも、プラッタの回転を維持するために常に電力を消費するのである。

旧式のハードディスク、たとえば、AT 世代の巨大な5.25 インチのフルハイトドライブは、63.5W の最初の PC や、100W の互換機などのように、電源の小さなコンピュータにとっては厳しい電力仕様になっていた。これについては、電力が不足す場合は大きな電源に交換することで問題を解決できる。

一方、最近の3.5インチドライブは莫大な電力の一部しか使用しない(ほとんどが10W以下で、5W以下のものも多い)ため、電力不足の問題はめったに起こらない。さらに、135W以上の電源を搭載しているパーソナルコンピュータなら、ディスクの新旧に関係なく、少なくともハードディスク1台分については十分な余裕があるはずである。また、最近のデスクトップパソコンは、多くが200W電源を持ち、かつ最新のハードディスクを搭載しているため、ドライブの消費電力は問題にならない。

電源において起こる可能性のある問題は、ドライブに差し込むコネクタかないということである。 多くのシステムでは、完全に拡張を行うにはドライブ用の電源コネクタの数が足りない。新しくハードディスクを注文する前に、手持ちのパーソナル コンピュータを調べて、新しいドライブに使用できる電源コネクタがあるかどうか確認する必要があるだろう。ない場合は、購入リストに Y 字ケーブルを追加しなければならない。

Y字ケーブルは、1台のドライブ用の電源コネクタを途中で受けてそれを2つに分割するものである。Y字ケーブルには、1個のオス型ドライブ電源コネクタ(ほとんどのディスクドライブの後部にある電源ジャックのようなもの)と、2個のメス型コネクタ(ドライブ後部にある電源ジャックから取り外したコネクタに合うもの)が付いている。ドライブジャックから外したコネクタをY字ケーブルのオス型プラグに差込み、2個のメス型プラグを2台のディスクドライブに差し込む。

■ディスクコントローラ

インストールするハードディスクは、使用するコンピュータに外形だけでなく電気的にも適合していなければならない。手持ちのハードディスクコントローラまたはホストアダプタに空きがあればよいが、そうでなければ、2つ目のコントローラ/アダプタをインストールする必要がある。

初期のパーソナルコンピュータの中には特別な問題を抱えているものがある。たとえば、XTのコントローラは2台目のディスクドライブを扱うことができるが、2台のドライブは同一のハードウェアパラメータ(旧式のST506インターフェイスを使う場合を含む)を持つものでなければならない。1台のコントローラでMFMドライブとRLLドライブを一緒に使用することはできない。両方のタイプのドライブがST506インターフェイスを使用していたとしても、RLLコントローラではRLL信号しか得られない。

最近のパーソナルコンピュータとドライブインターフェイスを使うと、これより自由度が増す。 ESDI は任意の容量を持つ2台のドライブ(もちろんそのインターフェイスが必要だが)でも使用できる。AT アタッチメントのホストアダプタも同様に柔軟性がある。SCSI ホストアダプタを使うと、7台までのドライブが接続でき、7台のドライブはまったく異なるセットアップパラメータを持つことができる。 システムに初めてハードディスクをインストールする場合 (何もない状態からシステムを構築する場合など)、またはインターフェイスを変更したい場合 (古くなった ST506 ドライブを低コストの AT アタッチメント装置と交換する場合など)、新しいコントローラまたはアダプタが必要になる。この場合、システムの多くは、ハードディスクとフロッピーディスクの制御機能を1枚の拡張ボード上で組み合わせていることを忘れてはならない。このようなコントローラを新しいインターフェイスと取り替える場合は、フロッピーディスク回路が付いたホストアダプタか、独立したフロッピーディスクコントローラボードを用意しなければならない。

外付けハードディスク

外付けシャシーユニットは、簡単にいえば、昔は パーソナルコンピュータに接続できる唯一のハー ドディスクだった。外付けシャシーユニットは、 最初のPCが抱えていた2つの問題、つまり、ス ペースが十分でないことと電源が十分でないこと を解決するものであった。外付けシャシーについ て、メーカーがよく口にするもう1つの利点は、 パーソナルコンピュータ内で熱を発生しなくてす むことである。さらには、外付けシャシーを使う と、8インチまたはそれ以上のかなり大きなドラ イブもパーソナルコンピュータで使用できる。こ のような長所は、トランプのケースよりも少し大 きいだけの 500M バイトドライブがある現代では 何の意味もないが、外付けドライブは次の理由で 今だに生き残っている。まず、ドライブアレイの 出現。それから、プラグ接続の融通性とシステム 間で移動可能な点。そして、ラップトップパソコ ンの場合、ハードディスクを増設するにはほかの 方法がないことなどである。さらに、外付けドラ イブをインストールすることで生じる不利益は基 本的には何もない。事実上唯一の欠点といえば、 ケースと電源のぶん以外にも、余分な費用がかか ることである。

ほとんどの場合、外付けドライブはシステムハウスで組み立てられている。システムハウスは、 生のディスクドライブ、コントローラ回路、そのほ か完全なシステムを作るのに必要なハードウェアを購入し、これらを組み立てて1個の手軽なパッケージにする。システムインテグレータは、ディスクドライブの製造元とユーザーの間に介在するもので、本来ユーザーが払うべき価格に自分の利益を足してシステムをユーザーに供給する。ユーザーにとってこういう形態は必ずしも悪いとはいえない。システムインテグレータは完成品を作って、ユーザー側の煩わしさを代行してくれるだけでなく、通常は、最終製品をテストし、品質のレベルをもう一段階上げることによって、ユーザーの心配を取り除いてくれるからである。

現在ある外付けシャシーハードディスクシステムは、ディスクドライブ本体、内蔵電源付きケース、ホストアダプタカードを合わせて完全な大容量記憶装置サブシステムにすることができる。昔の外付けドライブは実際のドライブコントローラ自身をシャシー内に組み込んだもので、パーソナルコンピュータ側で単純なホストアダプタが必要だった。しばらくの間、外付けドライブはコントローラをパーソナルコンピュータ内部に置いていたが、最近のユニットは、外部のボックス内にコントローラを組み込んだ旧式の設計に戻っている。実際、コントローラはハードディスク自身に組み込まれた埋め込み型インターフェイスであり、パーソナルコンピュータのボードは通常のATアタッチメントか SCSI ホストアダプタに過ぎない。

いずれにせよ、外付けシャシーは、何らかのタイプのケーブルによってコンピュータと接続される必要がある。この場合、メーカーでは FCC のことを考えて、接続ケーブルをできるだけ短くするようにしている。ケーブルが短いと干渉が発生しにくくなるため、FCC の取得が容易になるからだ。しかし、短いケーブルでは、ドライブを好きな場所に配置するという柔軟性にかなりの制約がつくことになる。いやでもユニットをコンピュータの左側に設置しなければならなかったり、場合によってはディスクドライブのおかげで机を並べかえる必要も出てくるかもしれない。

ケーブルは長さに関係なく不都合な点が1つある。コネクタはどの回路においても最も問題が起きやすく、最も障害を起こす箇所の1つであると

いうことだ。

とはいえ、外付けドライブは取り付けが簡単である。ほとんどの場合、ナットやボルト、ネジなどは必要ない。これは、一般に外付けシャシーが完全に組み立てられた状態でユーザーの手元に届くからである。代わりに唯一必要となる作業は、ホストアダプタのプラグをコンピュータの内側にある拡張スロットへ差し込み、外付けシャシーとメーカー側から供給されたケーブル付きのアダプタとをつなぐことである。

ハードディスクカード

1985年、ハードディスクメーカーの Quantum Corporation の数名のディスク技術者は、非常に 有望な構想のもと、その開発と促進のために新会 社を設立した。Plus Development Corporation である。そのアイデアとは HardCard のことで、 これは、基本的には標準サイズの拡張カードに 搭載されたハードディスクである。その後、Plus Development は引き続きほかの製品も開発して いたが、最終的には再び Quantum に吸収された。 いずれにしても、そのオリジナルのアイデアは非 常に刺激的なものである。すべてが一体化された HardCard は、ハードディスクのインストール時 のハードウェアに関する心配をすべて取り除いた。 HardCard はケーブルを必要とせず、インストー ルには指を傷付けたり、修理費用が1時間で100 ドルもかかるデリケートな回路にうっかり触れて しまう心配もない。さらに、HardCardは、新た にディスクを増設するのに使えるドライブベイが ないシステムにとってはうってつけであった。最 初の HardCard は、日本の大手電気メーカーの松 下電器が製造した専用のディスクコントローラと、 低電力で薄型の特殊なディスクドライブを使用し た。結果的に、HardCard は市販のパーソナルコ ンピュータ用として最初の IDE 製品となった。

最初の HardCard はまずまずの装置だった。容量は 10M バイトで、性能は通常の XT ハードディスクと同程度だった。一方価格は、同等の性能および容量を持つ組み立て式のハードディスクシステムの 3 倍という高価なものだった。その後 Plus 社は、分離型のハードディスクドライブと同等の

性能を持ち、容量が 100M バイトある製品も開発した。最近の HardCard は、ほかのハードディスクホストアダプタやコントローラと同じ 16 ビットバスインターフェイスを使用している。尚、今のところ、マイクロチャネル用のハードディスクカードは開発されていない。

最初の HardCard は容量は少なかったとはいえ、現在一般にハードディスクカードと呼ばれる "拡張ボードに搭載したハードディスク"というアイデアの実現の可能性を証明するには十分であった。このため、その真似をしたメーカーも何社かあったが、短かめのディスクコントローラを小型のハードディスクにボルトで付けるという簡単なものが多かった。Plus 社がスロットにカードを差し込むというコンセプトの特許を積極的に保護した結果、前述の会社の多くは市場から姿を消した。現在ではほとんどすべてのパーソナルコンピュータには

ハードディスクが標準装備されており、また、大 抵の人は通常のドライブを無理なくインストール できるようになっている、HardCard の特殊なす きま商品としての価値は事実上低くなっている。

とはいえ、HardCardにはそれなりの価値があることには変わりない。HardCardは標準装備のドライブに対する理想的な補足装置であり、手先がまったく無器用な一般の人でも簡単にインストールすることができる。また、HardCardは会社の中の複数のパーソナルコンピュータをセットアップする手段としても便利である。複数のコンピュータにインストールしたいすべてのファイルを1個のHardCardに書き込んで、それを各マシンに順に差し込み、XCOPYコマンドを1回を実行するだけで、すべてのファイル(ファイルの構造でさえも)を各マシンの内蔵ハードディスクに転送することができるのだ。

21.8 ディスクの性能

ハードディスクを購入する場合、多くの人はディスクの性能のことで頭がいっぱいになる。ドライブによって情報を検索し転送する速さに違いがあると思っているからである。厳密にいえばこれは正しいが、実際には、以前に比べてドライブによる差はごくわずかになっており、適切にセットアップされたシステムでは、そのわずかな差もほぼ完全になくなっている。

ハードディスクの性能は、機構に採用されている設計に直接的な関係がある。ヘッドアクチュエータはデータをディスクから検索する速度に一番大きな影響を与え、その次がプラッタの数である。しかし、各メーカーで採用されるヘッドアクチュエータの設計は、最近のハードディスクは厚さの制約があることから、ドライブ1台あたりのプラッタの数と同様、製品による差がなくなっており、このため、速度の差というのもなくなっている。

もっとも、すべてのハードディスクが同じ速度 であるというのではない。その違いは、2、3年前 のドライブと今のドライブを比較した場合にはっきりする。ハードディスクの速度に関係する問題点を理解すると、この2、3年のこの業界の進歩をよりよく理解でき、またこの先何が改良されていくのかがわかるだろう。

平均アクセス時間

待ち時間という用語はすでに本書でも用いているが、これはディスクの回転が原因で生じるデータ検索時の平均遅延時間のことである。また、ディスク上のある場所に記憶されている内容を見つけ出せという指示をディスクドライブが受け取る時点と、ディスクが実際にその場所を読み書きできる準備が整うまでの間に、どれぐらいの時間が経過するかは、別の要因によっても影響を受ける。この要因とは、読み書きへッドが1つのシリンダから別のシリンダへ半径方向に移動するときの速度である。この速度は様々な呼び方をされているが、シークタイムと呼ばれることが多い。トラッ

ク間シークタイムは、1つのトラックから次のト ラックまでヘッドを移動させるのに要する時間の ことである。さらに、平均アクセス時間(平均シー クタイム)というものがあり、これは読み書きへッ ドが任意のシリンダ(または半径方向のある位置) へ移動するのに要する平均時間を表わしたもので ある。平均アクセス時間はミリ秒単位で表わされ、 短いほどよい。ヘッドアクチュエータ技術の種類、 アクチュエータ部分の大きさ、アクチュエータの 物理的な力、およびディスク上のデータ域の幅な どが、すべて平均アクセス時間に影響する。技術 の点では、ボイスコイルアクチュエータのほうが ステッパ設計より高速である。また、アクチュエー タは軽量であるほど慣性が少なく、加速および停 止が速い。アクチュエータのメカニズムが強力だ と、非常に鋭敏にヘッド部分を移動させることが 可能になる。さらに、情報を保持するディスク上 の帯域(バンド)が狭いほど、ヘッドがトラック間 の移動に要する距離は短くなる。

実際にアクセス時間はドライブによって 10 陪以上もの差がでる。旧式の技術のドライブは平均アクセス時間 150 ミリ秒で応答するのに対し、最新のドライブでは 10 ミリ秒近くである。デュアルアクチュエータドライブになると、連続した読み取りまたは書き込み要求に必要とされるアクセス時間は事実上除去できる。

結局のところ、平均アクセス時間をどれくらいの長さでよしとするかは、ほとんどは使用するユーザーの気持ち次第である。とはいえ、高速な方が良いことは確かだ。以前は高速のものは高価だったが、今日では価格差はあまりなく、ほとんど問題にならないほどである。様々な製品に対して唯一受け入れられているガイドラインは、IBM 仕様である。IBM のパーソナルコンピュータに最初に導入されたハードディスクは XT に搭載されたもので、規定の平均アクセス時間は85ミリ秒だった。次世代のIBM パーソナルコンピュータである AT は、平均アクセス時間40ミリ秒のドライブを搭載していた。

しかし、386 およびそれ以降のコンピュータでは、IBM 仕様というガイドラインは隅に追いやられている。IBM が様々なコンピュータモデルで

様々なアクセス時間を持つドライブを導入したため、どれもガイドラインとしての意味をもたなくなったからである。ATドライブの次の性能レベルは約28ミリ秒で、非常に素晴らしい386ベースマシンの第一世代を生み出した。高速の386マシン(25 MHz以上)や486SXマシンは、20ミリ秒に近い速度で動作するドライブによってさらに優れた性能が引き出される。486DXやより高性能のマイクロプロセッサをベースにしたマシンは、平均アクセス時間が15秒以下のドライブによって本領を発揮できる。

エレベータシーク

進んだディスクコントローラは特にディスクアレイに使用されているが、エレベータシークと呼ばれる技術を使用してヘッドがシーク(捜索)を行うことにより、遅延時間を最小限にしている。異なるトラックへの複数の読み書き要求が発生した場合、コントローラが、シーク時のヘッドの移動が最短になるようにその要求を構成するのである。コントローラはエレベータのように下位番号のトラックから上位番号のトラックの順にシーク要求を並べ替え、次の要求からは逆に上位番号のトラックから先に処理して、下位番号のトラックへと戻っていく。このようにして各々の要求に応じて集められたデータはコントローラに格納され、適切に処理される。

エレベータシークは、データへの複数の要求をほとんど同時に受け付けることで、ドライブシステムの性能を向上させる。ただし、DOS はシングルスレッドのオペレーションシステムであり、1つのシーク要求を満たしてから次の要求をディスクに送り込むという制約があるため、このアクセス加速技術を利用することはできない。一方、ネットワークシステムは多数のシーク要求が同時に発生し得る。エレベータシークは、このようなシステムにおいてディスクアクセス時間を短縮するものである。

データ転送速度

ディスク上でバイトまたはレコードが1つ検出されると、ホストコンピュータに転送される。ア

クセス時間とは別のもう1つのディスクの仕様であるデータ転送速度は、データを処理する、つまり情報がマイクロプロセッサとハードディスク間を往復する速度に影響を与える。ディスクの転送速度は平均アクセス時間から完全に分離した数々の設計要因により左右される。

ここ数年、コンピュータシステムの転送速度を制限する要因は、ホストマイクロプロセッサからディスクインターフェイス、バス、そしてディスクドライブへと移ってきた。たとえば、初期の IBM XT の転送速度の限界は 8088 マイクロプロセッサ自身によって課されたものであり、情報処理の速さは低速の ST506 インターフェイスにさえも及ばなかった。386 ベースのマシンでようやくディスクとインターフェイスの性能を追い抜くことができたため、ドライブメーカーはディスクシステムのスループットの改善に力を入れ始めた。

転送速度において超えることができない1つの限界に、ハードディスクとホストコンピュータをつなぐインターフェイスのデータ転送速度がある。ドライブはインターフェイスが許容する以上の速度では情報を移動させることはできない。旧式のST506インターフェイスは、現在使用されている中で最も遅い。RLL およびアドバンスド RLL がこのインターフェイスの速度向上に貢献したが、AT アタッチメントや SCSI、ESDI のほうがより大きな可能性を持っている。

ハードディスクの転送速度は、メガヘルツ (MHz)または1秒あたりの M バイト数 (M バイト/秒、MHz の 1/8)で表わす。旧式の ST506 規格では転送速度は 0.625M バイト/秒となっており、これは、RLL コーディングを使用することで、0.9375M バイト/秒まで押し上げられる。 ESDI の初期のものでは転送速度は 1.25M バイト/秒だが、製品がより高性能になるに伴い、その値は 3.125M バイト/秒まで向上している。 AT アタッチメントインターフェイスの場合、8 ビット接続を使用すると転送速度は 4M バイト/秒で、16 ビット接続を使用すると 8M バイト/秒で、16 ビット接続を使用すると 8M バイト/秒にできる。本来の SCSI 接続では 5M バイト/秒の転送速度が可能だが、Fast SCSI 2 でこれを 10M バイト/秒まで押し上げている。16 ビット幅 SCSI 2 がこ

れに相当し、32 ビットワイド SCSI 2 では 2 倍の 20M バイト/秒、そして 32 ビット幅 SCSI 2 が Fast SCSI 2 と結び付くと一気に 40M バイト/ 秒になる。当然忘れてはいけないのは、ST506 および ESDI はデバイスレベルインターフェイスであり、これらを使用したドライブの実際のスループットは低いことである。したがって、ここで示した速度から転送のオーバーヘッドを差し引く必要がある(第 20 章を参照)。

ほかにもインターフェイスには、転送速度を最高値から減速する要因がある。ホストコンピュータのバスである。ISAバスの最高有効転送速度は8Mバイト/秒で、これより高速なSCSIリンクに制限を与えることになる。EISA接続では速度が33Mバイト/秒と高速だ。旧式のマイクロチャネルでは10Mバイト/秒(10MHzで動作する16ビットバス)と低速だったが、32ビットマイクロチャネル接続では、20MHzで動作し、新しい転送モードでは40Mバイト/秒という高速な転送も可能である。ローカルバス接続はすべて、基本となるディスクインターフェイス転送速度を超えている。

ここで注意しておきたいのは、これらの速度は ピーク値であり長時間は持続できないため、バス 接続経由の有効転送速度は示された数字より低く なるということである(第6章を参照)。

今日のディスクとバス間のインターフェイスが、 ディスク転送速度を妨げることはまれである。ほ とんどの場合は、ドライブの構造における物理的 要因が転送速度を制限している。主たる制限原因 は、ディスクの回転速度とトラック密度(各トラッ クに512バイトのセクタがいくつあるかというこ と)の組み合せである。ディスクがより高速に回転 し、また、よりトラック密度が高いと、一定時間に 読み書きヘッドの下を通り過ぎる情報の量は多く なる。デバイスレベルインターフェイスでは、この 生のデータストリームがそのままインターフェイ スを介して渡される。回転速度と各トラックの容 量から実際のデータ速度が決まるのである。1991 年頃に製造されたシステムレベルインターフェイ ス付きドライブの多くは、デバイスレベルドライ ブに使用されるメカニズムと同じものを基本にし

ており、インターフェイスが持つ多大な可能性にもかかわらず、実際の処理能力は同じだった。これはアメリカの16 車線のハイウェイに、たった3台の車しか走っていないのと同じような状況である。このような理由により、メーカーはデバイスレベルインターフェイスから離れ、新設計(高回転速度、ゾーンビット記録、およびオンディスクキャッシュなど)を使ってシステムレベルインターフェイスドライブの改良に全力を注いだため、実際のスループットは向上しつつある。しかし、多くの高性能インターフェイスの高速転送速度によって、エンジニアにはまたさらに高速化を実現する余地が与えられている。

多くの SCSI ハードディスクやホストアダプタの仕様を検討する際に、転送速度として複数の数字を目にすることがある。たとえば、SCSI ホストアダプタでは、ディスクからアダプタへの転送速度 (5 M/秒) およびアダプタからディスクへの転送速度 (20 M/秒または平均 33 M/秒) が指定されている。このホストアダプタが性能を高める何らかの機能を備えていなければ、このシステムで出せる値は確実に低いほうの数字である。しかし、ディスクキャッシュ機能があるホストアダプタであれば、アダプタからホストへの転送を高速なほうに近い速度で行える。

セクタインターリーブ

かつてマイクロプロセッサがハードディスク速度を制限していた頃、システムエンジニア達は、ホストとの組み合わせにおいて遅くなってしまうドライブ性能をいかに最適化するかに頭を悩ませていた。この場合、セクタインターリーブが、最高の組み合せを達成する主要な手段だった。しかし、インターリーブはもはや現代のハードディスクにおいては争点ではない。

ハードディスクのセクタインターリーブは、トラック内のセクタの実際の物理的な配置に対する 論理的配置の関係である。たとえば、セクタに1 から17まで番号を付けたとすると、データはセクタの番号順に順次格納されていく。しかしディスク上では、それらの連続した番号のセクタが物 理的に隣合う必要はない。実際のセクタの配置は ディスクコントローラにとって意味はない。これ は、ディスクコントローラが特定のセクタを検出 する場合、ディスクトのセクタの位置を調べるの ではなく、セクタ ID (セクタに割り当てられた番 号)を読み取るからである。セクタの論理的位置と 物理的位置の間のこのマッピングは、ハードディ スクのローレベルフォーマットにより決定される。 セクタインターリーブは、DOS が連続したセク タを読み取る指示を出したときに、ディスクドラ イブに強制的に一定数のセクタをスキップさせる ものである。たとえば、DOSがドライブに1番と 2番のセクタを読み取るように指示を出したとす る。ハードディスクシステムはセクタ1を読んだ 後、ID番号2のセクタを読み取る前に、6つのセ クタをスキップする。6つのセクタを読み取らな かったため時間に余裕ができ、この間にホストコ ンピュータはディスクに追いつくことができると

2つの論理的に連続したセクタについて、始めのセクタの長さと2つのセクタの距離との比率を、インターリーブファクタという。インターリーブを測定するのに使用される長さは1セクタで、比率で表わした場合、インターリーブファクタを表わすのに右側の数字しか使用されないことも多い。つまり、セクタをスキップしないディスクは、インターリーブファクタが1:1または単に1といい、5セクタをスキップするディスクの場合は、インターリーブファクタは1:6または単に6という。

いうわけだ。

インターリーブは確実にディスクシステムの転送速度を遅くするかのように見えるが、最適なインターリーブは実速度を向上させるのに役立つ。インターリーブが大きすぎたり小さすぎたりすると、速度を低下させることになり、特に、小さすぎるインターリーブ値を設定したほうがその弊害は大きい。たとえば、パーソナルコンピュータが次のセクタを読み取る準備ができていない場合、セクタを読み取るまでにディスクは完全に1回転しなければならず、通常17ミリ秒(3600 rpmの場合)の遅れがでる。パーソナルコンピュータが遅れを取り戻すのに1セクタのスキップで十分だとすると、遅れは1ミリ秒(各トラックは17セクタと仮定)だけである。この場合、適切なインター

リーブを使用すると、インターリーブを使用しないものと比べてディスクシステムが 17 倍も速く動作することを考えると、最適なインターリーブ値についてはどうしても議論せざるをえない。

ここで注意しておきたいのは、小さすぎるインターリーブファクタより大きいインターリーブに間違えた方がまだ失敗は小さいことである。セクタを1つ余分にスキップすることによる読み取りの遅れは、小さい方を使用したときの17ミリ秒にくらべて大きい方ではたった1ミリ秒ですむ。

小さすぎるインターリーブファクタの使用によ る弊害は大きいため、IBM は XT および AT の ハードディスク専用のインターリーブファクタの指 定では恐らくかなり保守的だったと思われる。XT はインターリーブファクタ6を使用し、ATは3 を使用している。これらのシステムでは、低い転送 速度でありながらよりよいディスクの性能を得る ことが多い。SpinRite (Gibson Research) などの 専門のプログラムがあれば、システムのハードディ スクに対する最適なインターリーブをユーザーが 決めることができる。この場合注意しなければな らないのは、インターリーブ1:1が最適に思われ る場合でも、実際にそういうことはまれであると いうことだ。トラックバッファのないハードディ スクを使用する AT および高性能なコンピュータ のほとんどは、通常インターリーブファクタ2で 最適に動作する。インターリーブは、トラックバッ ファを持つハードディスク(基本的にシステムレベ ルインターフェイス(AT アタッチメントと SCSI) を持つ最近のディスクおよび ESDI ドライブ) で は問題にならない。

シリンダスキュー

インターリーブファクタが1:1になるのが最も 理想的な状態と考えるかもしれないが、このファ クタには問題点もある。ディスクドライブへッド は、1つのトラックの読み取りを終了した後、次 の読み取り動作のために次のトラックに位置を移 動する必要がある。ヘッドの移動は機械的なため、 どうしてもわずかな時間を要する。わずかな時間 といっても、この移動時間中にヘッドは1つのト ラックの終わりから次のトラックの始めまで移動 を行えるぐらいだから、十分長い時間であり、動作が大幅に遅れることになる。そのため、トラック1つが完全にヘッドの下を通り過ぎて、次のトラックの読み取りを開始するまでに待ち時間が生じる。

この問題は、すべてのトラックの開始位置を同 じ半径線に合わせて一直線上に並べないという単 純な方法により簡単に解決される。前のトラック の終わりから次のトラックの開始をわずかにずら すことで、ヘッドの移動時間を補償することがで きる。このように、各トラックおよびシリンダの 最初のセクタの始まりが一直線に並ばずに、わず かにスキューしている (斜めにずれている) ことか ら、この技術をトラックスキューまたはシリンダ スキューという。

トラックバッファ

最近のハードディスクおよびコントローラでは、 インターリーブは的外れなものになっている。制 御回路(拡張ボード上またはドライブ内に組み込ま れている)がトラックバッファ(トラックすべての 内容を格納したオンディスクバッファメモリ)を使 用して、ホストコンピュータの情報の要求により うまく対応しているからである。トラックバッファ を使用してコントローラに読み取り要求を送った 場合、実際に要求された情報量にかかわらずコン トローラはディスクトラックすべてを読み取る。2 つの連続したセクタから情報が必要な場合、デー タはディスクの回転には関係ないコントローラバッ ファから読み出される。トラックバッファシステ ムのディスクは、1:1のインターリーブで最適に 動作する。旧式の ESDI ドライブを除くほとんど のドライブは、トラックバッファコントローラで 動作するよう設計されており、さらに進んだ転送 最適化方式さえ使用しているものもある。

ディスクキャッシュ

ハードディスクシークにおける機械的作業から パーソナルコンピュータを解放する究極の手段は、 ディスクキャッシュである。読み取り要求(または 書き込みキャッシュをサポートしているシステム の書き込み要求)の対象データがキャッシュ内に格 納されていた場合、キャッシュによってシークに よる遅れを回避することができる。これらのデー タは RAM の速度で検索されるからである。同様 に、キャッシュによって、キャッシュ内に格納され ているデータの転送速度は、キャッシュとマイク ロプロセッサ間のインターフェイスの限度まで高 速化される。オンディスクキャッシュでは、ドラ イブインターフェイスが主な制約となる。ディスクコントローラかホストアダプタにハードウェアキャッシュを持った場合は、バスインターフェイスが制約となる。ソフトウェアキャッシュでは、マイクロプロセッサとメモリのアクセススピードが唯一の制約要素である。

21.9 ハードディスクの購入

シングルユーザータイプのパーソナルコンピュータ用のハードディスクには技術上の違いがなくなってきたため、今では適切なハードディスクを選択するための心配はほとんどいらない。現在の(中古ではなく)製品は、素晴らしい性能で長期にわたって故障もなく使用できる。とはいえ、購入するディスクと購入場所を決定する際に役立つポイントはいくつかある。

容量

ハードディスクでは価格と容量が最も重視されることは間違いない。ただし最終的な判断は基本的にはユーザー次第である。そのユーザーが購入できる製品のみがその検討対象となりうるからだ。容量については、予想される必要量よりも大きめのものを購入することが、唯一のポイントといえるだろう。その方が少しでも長く使えるからである。

今日では、価格にこだわる人と、10 年前に逆戻りできる人しか、20M バイトや 40M バイトのドライブは購入しない。この容量では、明らかに高度なソフトウェアをインストールするには不十分である。Windows 3.1 にアプリケーションを少し追加すると、すぐに 40M バイトドライブの限度を超えてしまう。OS/2 バージョン 2.0 では、60M バイトドライブが必須である。これはつまり、検討対象となるのは 100M バイト以上ということである。このような容量の条件を満たすもので M バイト単価が安いものと考えると、最適なのは 200M バイト程度のものということになるだろう。

性能

ネットワークサーバを最適化しようというのでなければ、性能の持つニュアンスはすべて忘れてよい。さもなければ、RAM用に数Mバイト分を投資して、ソフトウェアディスクキャッシュを使用すればよい。DOS および Windows の現行バージョンに添付されている SMARTDRV.SYS は、様々なハードディスクの差を補って余りある。

システムの互換性

システムの互換性は、購入時のチェックポイントの中では通常最後のほうに置かれるが、いずれのハードディスクドライブでも、手持ちのパーソナルコンピュータで動くということは重要な条件である。これにはいくつかの問題が含まれている。

特別なソフトウェアを必要とせずに正常に機能させたい場合、また、ドライブの容量のすべてを有効に使用したい場合、ドライブの物理的構成(ヘッドとシリンダの数)は、パーソナルコンピュータのセットアッププロシージャにあるドライブパラメータの1つとマッチする必要がある。ハードディスクのベンダーにヘッドおよびシリンダの数を聞き(通常は公表されていない)、それをパーソナルコンピュータのマニュアルの表またはパーソナルコンピュータのセットアッププロシージャで示されるドライブの種類の表示と照合する必要がある。ただし、自動セクタトランスレーションモードまたは進んだインストールプログラムを備えたドライブを選べば、この問題は回避できる。

ハードディスクを増設する場合、最適なのは1台目のドライブと同じものである。まったく同じものがない場合は、新たにドライブコントローラが必要にならないように、同じインターフェイスのものを選択するとよい。しかし、ST506を使用している場合は、それをあきあらめてもう少し大きい AT アタッチメントドライブを購入した方がいいだろう。容量は大きくてもそれほど値段は変わらないし、特別な問題もなくさらに優れた性能を得ることができる。

この場合忘れてならないのは、旧式の AT アタッチメントドライブには、ほかの製品と互換性がないものがあることである。手持ちのパーソナルコンピュータが 1990 年以前の AT アタッチメントドライブを搭載している場合、その装置と互換性があるのは同じ機種のみである。最近の製品であれば互換性に問題はない。

状況は改善されつつあるが、SCSIコントローラには、特定のパーソナルコンピュータまたはディスクドライブでは動作しないものがある。SCSIを選択する場合は、適合するドライブおよびコントローラを入手することで互換性の問題に対処したほうがよいだろう。

コントローラとホストアダプタ

手持ちのパーソナルコンピュータの古いドライブを高性能インターフェイスを使用するドライブへアップグレードアップしたい場合、新しいハードディスクコントローラまたはホストアダプタを購入する必要がある。新しいドライブの購入を検討する場合、価格という要素を忘れてはいけない。加えて、コントローラのサポートはハードディスクのサポートと同様に重要であることも忘れてはいけない。

高性能なインターフェイスを使いたいなら、現在使用しているドライブをあきらめるか、さもなくば、新しく購入するドライブとコントローラが古いユニットをインストールしたまま動作するというベンダーの確実な保証を得るべきである。そして、万一不適合だと判明した場合には、無料で返却できることを確認しておいたほうがよい。ベンダーから確かな保証が得られなかった場合は、

そのドライブが手持ちのシステムに適合するという自信がベンダーにはないのだということを頭に 入れておくべきだろう。

ケーブル

パッケージ販売の場合、ケーブルが含まれているか確認しておくと、手間がかからず予定外の出費が発生することもない。せっかくの給料日に新しいドライブを購入しても、ケーブルが付いていなければ、宅急便でケーブルが届くまで2、3日待たなければならなくなる。さらに、ケーブルを別に購入した場合、10ドルから20ドルの費用がかかる。ケーブルをドライブに付属してくれるベンダーで購入するとよいだろう。

物理的な問題

パーソナルコンピュータ内に収まらず、コンピュータの上に置かなければならないようなハードディスクはやめておくこと。そのためには、自分のシステムに、購入するドライブ用のスペースがあることを確認する。5.25 インチのハードディスクの場合は、この点は簡単で、ドライブベイにフルハイトまたはハーフハイトのものがインストールできる。3.5 インチのドライブでは、ドライブの高さをインチで正確に把握し、取り付けられるか否か検討する必要がある。

また、自分のドライブに必要なドライブ取り付け金具があることを確認する必要がある。システムが標準 AT サイズのハードディスクレールを使用する場合、注文したドライブにレールが付いてくることも確認しておく。ベンダーには Compaqサイズのレールを用意しているところもあるので、必要ならば問い合わせてみるとよい。

ベンダーにあいまいなドライブの取り付け方法 を期待するよりも、手持ちのシステムを調べてみ たほうがよい。そうすれば、メーカー側の配慮で、 空いたドライブベイには必要な取り付け金具が用 意されており、アップグレードできるようになっ ていることがわかるだろう。

ドライブの信頼性

ハードディスクの平均故障時間 (MTBF) はそ

の信頼性の目安となる値である。しかし今日ではほとんど一笑に付されるようなものとなった。以前のドライブは約25,000時間動作すると査定されていたが、現在ではほとんどが10万から16万時間、つまり11年から18年動作すると査定されている。メーカーには、独自のMTBFを30万時間以上、つまり34年程度としているところもある。これならパーソナルコンピュータ(ついでにいえばユーザー自身)の寿命分は十分もつ。大きいMTBFは、ドライブの長寿命を保証する。また、メーカーがMTBFについてのクレームをどの程度の間サポートするかも考慮しなければならない。メーカーの保証が90日だけだった場合、50万時間というMTBFは意味がないのだ。

保証

ハードケィスクドライブはベンダーまたはメーカーにより保証されている。恐らくユーザーはベンダーの保証のほうをあてにするだろうから、これは最初に考慮すべき点である。

保証の程度を簡単に比較できるのが保証期間である。ハードディスクの保証期間は、最低 90 日以上である。良い製品を選び、将来的にハードディスクの保証を提供してくれるベンダーを選ぶことが大切だ。

保証内容も重要である。輸送時にはドライブに 何が起こるかわからないため、修理後に送り返し てくれるよりも、代替ディスクをくれる保証の方 を選ぶべきである。

メーカーの保証方法は、知らないとごまかされたように感じる。一般に保証期間は、製品がユーザーではなく業者に売られた時点から始まるため、思っているよりも早く無効になる。さらに都合の悪いことに、認可されていない小売店で購入した

場合はその保証を認めてくれないことがある。したがってドライブを購入する際には、メーカーの保証が得られることを明白にしておくことが大切である。

少なくとも適切に修理を行う設備と良い評判を 持っているメーカーなら、ドライブを交換してく れなくても修理について心配する必要はない。

サポート

メーカーにより異なるが、購入したドライブの サポートには1つまたは2つの方法がある。ほと んどの場合、サポートしてもらうのに適した最初 の相手は、ドライブを購入したベンダーである。 したがって、ベンダーが提供するサポート内容に ついて調べておくとよい。

購入する前に、販売員にメーカーのサポート方法を質問する。また、ベンダーが最低限サポート電話を用意しているかどうか確認する。その際、恐らくドライブのインストールは夜行うだろうから、電話をかける可能性がある時間帯にその電話が利用できるか確認する。また、そのサポート回線は無料で、質問に即座に回答できる十分な数のスタッフがいるかも調べる。スタッフがかけなおしてくれるまで、待ちたくはないだろう。

ベンダーには、ドライブメーカーのサポートスタッフだけに頼っているところもある。しかし、中にはユーザーと話さえしないメーカーもある。メーカーの扱いはベンダーのみを対象とし、エンドユーザーは対象外だからである。しかし一方では、ユーザーが最初はベンダーを頼り、それでもだめな場合には手を貸してくれるメーカーもある。消費者サポートラインを持つとこともあり、中には無料のところもある。

21.10 ハードディスクのインストール

ハードディスクを選択し(そして手持ちのシステムで動作するか確認し)、それを入手したら、今度は実際にインストールする番である。ハードディスクドライブは、ほかの装置(第19章参照)と同様、ベイに取り付ける。ハードディスクのインストールで独特な点は、配線である。ドライブインターフェイスはそれぞれ独自の特別な配線を必要とする。通常は、各々が独自の働きを持つ2本から3本のケーブルを使う。

電源ケーブル

ドライブはすべてモータおよび制御回路を動作させるための電源を必要とし、ほどんどのドライブは、サイズまたはインターフェイスに関係なく、同じ種類の電源接続を使用する。この代表的な例外は、IBM PS/2の内部のドライブベイへインストールするようになっている 3.5 インチのハードディスクで、これは、電源と信号のコネクタを1個のプラグに一体化している。ほかのドライブでは、電源コネクタは4本のワイヤ(内1本は予備)をまとめたナイロン製のコネクタで、これが標準的な装置用の電源プラグである。なお、ATアタッチメント規格では、3.5 インチのフロッピーディスクドライブに使用される小型の電源コネクタも認められている。

ほとんどのパーソナルコンピュータでは、ワイヤは標準カラーコードに準拠している (若干の例外もある)。赤のワイヤは 5 V の直流用で、ディスクドライブの論理回路および制御回路を動作させる。オレンジのワイヤは 12 V の直流用で、ディスクドライブのスピンドルモータに動力を供給する。黒のワイヤ (黄色の場合もある) は、これら 2 つの電圧のための返送経路およびグラウンドである。

ナイロン製のコネクタでは2つの角を面取りしているため、プラグを逆に差し込んで、誤った電流をディスクドライブの回路に流し込むことはあり得ない。

ドライブを正しくインストールするには、電源コネクタをハードディスクの後部にあるジャックに差し込み、奥までしっかりと差し込まれたことを確認するだけでよい。しかし、プラグをジャックに差し込む作業は容易ではないことがある。このとき、余計な力をドライブにかけないように注意する必要がある。やみくもにプラグをジャックの中に押し込むのではなく、1本の指をプラグに、親指をジャックにかけて2本の指に同時に力を入れて握るとよい。

ST506とESDI の配線

パーソナルコンピュータで使われる代表的な 2 つのデバイスレベルのハードディスクインターフェイスは、共通の配線システムを使用している。この配線方式は、そもそもは ST506 インターフェイスで使用するために開発されたものが、そのまま ESDI にも適用されたもので、データケーブルと 制御ケーブルの 2 本のケーブルを使用する。

■データケーブル

ST506 および ESDI 環境では、ハードディスクのデータケーブルも非常に簡単である。一般に使用されるのはリボンケーブル1本で、これは20本の導線をまとめたものである。リボンケーブルはディスクドライブ側ではメス型エッジコネクタで終端する。間違って逆向きに接続しないように、多くの場合、コネクタには2列目と3列目のピンの間にプラスチックの出っ張りが付いており、一方のディスクドライブ側の回路基板のエッジには同じところに切り込みが入っている。

リボンケーブルには極性があり、通常は1番の 導線に色を付けて目印にしているので、プラスチックの出っ張りがなくてもケーブルの向きを間違え ることはないはずだ。色の付いた1番の導線は、ハードディスクの端子のいちばん端(切り込みの ある側)につながる(図 21-1 参照)。

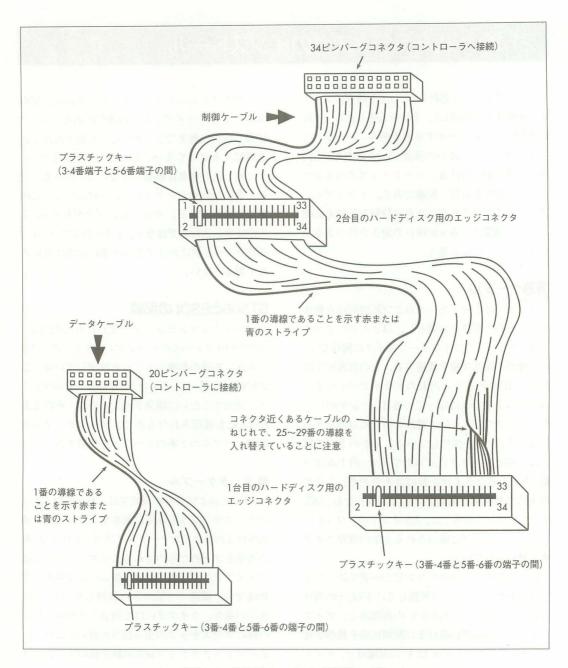


図 21-1 ST506 ケーブルと ESDI ケーブル

ケーブルのもう一方の端は、一般に、回路基板のヘッダの金色のピンに差し込むヘッダコネクタの形をしている。この部分には通常キーは設けられていないが、1本ヘッダピンを取り除き、それに対応するコネクタの穴をふさいで、その代わりにしていることもある。通常、回路基板のヘッダが

取り付けられる部分にはピン番号を示す記号が印刷されている。ケーブル上のキーとなるストライプは必ず19および20ピン側とは反対の1ピン、2ピン側のほうに付けられる。

ほとんどのハードディスクコントローラは、2本のデータケーブル用に2つのヘッダを持っており、

コントローラで制御される2台のディスクドライブに1つずつ使用される。通常これらのヘッダは、J3、J4と表示され、小さいほうの数字のジャックが1台目のハードディスクに対応している。

データケーブルを間違ったヘッダに差し込んでも、致命的なエラーにはならない。ディスクドライブシステムは正常に動作しないが、結果的にはダメージはないようだ。この状況の徴候としては、ドライブからは動作音が聞こえ、動作インジケータランプが点灯して(正常な位置の制御ケーブルが、ドライブが予定の動作を行っていることを確認しているため)、見かけ上は正常に動作しているように見えるが、画面にはエラーメッセージが表示される(コントローラが予定のピンにデータが出力されていなことを知るため)。ケーブルを正しいヘッダへ移動させると、ディスクドライブは生き返り、問題はなくなる。

■制御ケーブル

ハードディスクの動作内容を指定するコントローラからの信号は、34端子ケーブルを経由する。フロッピーディスクケーブルのように、ハードディスク制御ケーブルは2台の装置をデイジーチェーン接続するように設計されており、ケーブルの一方の端はコントローラに差し込まれ、2つのコネクタはそれぞれのディスクドライブに接続される。

IBMのハードディスクのディジーチェーン構造は、フロッピーディスクで使われるものと似ており、ハードディスク制御ケーブルはフロッピーディスクの制御/データケーブルにかなり似ている。たとえば、両方のケーブルとも、最初のドライブコネクタのそばで何本かの導線をねじっている。つまり、そのコネクタは DOS がドライブ Cと認識しているものへ差し込まれるわけだ。ケーブルの真中にあるねじりのないほうのコネクタはドライブ D に差し込まれる。

ケーブルにねじりがある点は同じだが、ハードディスクの制御ケーブルとフロッピーディスクの制御/データケーブルは同じものではない。この2種類のドライブケーブルは、それぞれ異なる端子をねじっているため、交換して使用することはできない。

使用していないフロッピー用の制御/データケーブルとハードディスク用制御ケーブルが何本もある場合、混乱しないようにどれがどれであるかわかるようにしておく必要がある。それには、油性マーカで各ケーブルに印を付けておくのもよい方法だろう。フロッピーケーブルのコネクタにはAおよびB、ハードディスクケーブルのコネクタにはCおよびDと書き込む。あるいは、ケーブル自体に"フロッピー"または"ハードディスク"と書き込むとよい。

■ドライブ選択ジャンパスイッチ

ハードディスクはすべて、それが搭載されるシステムによって個々に定義付けができなければならない。DOS は、たとえばよく知られている "C" などのドライブ番号を使用しているが、ドライブ番号は論理 ID でしかない。システムのハードウェアは、各ドライブに個別の物理 ID も必要である。ST506 および ESDI ハードディスクは、フロッピーディスク同様、装置番号またはドライブ選択番号を割り当てられている。一般に、装置番号はジャンパスイッチかハードディスク上にある DIP スイッチで選択する。

■特殊ケーブルについて

DOS がハードディスクに割り当てたドライブ番号に関係なく、IBM の ST506 および ESDI ハードディスク構造では、各ハードディスクは 2 台目のハードディスクとして設定されなければならない。番号が 1 から始まるハードディスクでは、IBM のハードディスクは 2 番になる必要がある。同様に、番号が 0 から始まっているハードディスクでは、IBM のハードディスクは 1 番になる。

このように、システム内の2つのドライブは同じ装置番号が設定される。そして、2台のドライブの区別は制御ケーブルによって行われる。ケーブルのねじりによって、システムには、ケーブルの先端のほうのコネクタに差し込まれているドライブが1台目のドライブであるように見える。そして、2台目のドライブとして設定され、ねじりのないケーブルで接続されているもう1つのディスクは、2台目のディスクとして認識されるので

ある。

IBMの法式に従わなければならないと規則で決まっているわけではない。どうすればいいかわかっていれば、ストレートケーブルでもツイストケーブルでも使うことができる。これをうまくやる秘訣は、ハードディスクのドライブ選択ジャンパスイッチをユーザーの特定の構成に合わせた設定の仕方を知ることである。

1台のハードディスクを IBM 標準コントローラに接続するのにストレート制御ケーブルを使用するときは、ディスクドライブのドライブ選択ジャンパスイッチを、これが 1台目のドライブであるということが反映するように設定する。また、ケーブルの最後のコネクタの前にねじりがない単一制御ケーブルで 2台のハードディスクをデイジーチェーンするときは、Cと認識させたいドライブにはシステムで最も小さい選択番号を、Dと認識させたいドライブにはその次に小さい選択番号を設定する。

■2台以上のハードディスクの使用

ほとんどの ST506 および一部の ESDI ハード ディスクは、2を越えるドライブ選択値もサポー トする。IBM の配線方法は、これらの設定を使わ ない。代わりに、IBM および互換機メーカーのほ とんどでサポートされているシステムでは、ハー ドディスクを2台一組として、その各組に個別の ディスクドライブコントローラを使用する。AT インターフェイスドライブの場合も、同様にホス トアダプタを複数使う必要がある。SCSIホスト アダプタを使うと、ディスクまたは別の装置を最 高7台まで使用することができる。しかし、1つ のホストアダプタに7台未満の装置を接続したり、 7台以上の装置を接続するのに2つ目のホストア ダプタを追加したり、または、各ドライブに対し て個別にホストアダプタを使用することなども、 ユーザーの要求に応じて可能である(それだけの 費用があればの話だが)。

各コントローラやホストアダプタに接続された ハードディスクには、ドライブ選択番号、SCSI ID、または2台のドライブシステムにおける同じ 意味を持つものが割り当てられる。IBM 配線 (制 御ケーブルのドライブ C 用のコネクタのそばにね じりがある) では、各コントローラに接続された 2 台のドライブは、システムにおける物理的に 2 台 目のハードディスクとしてジャンパ配線される。

ジャンパまたはツイストケーブルによって、各ハードディスクに割り当てられた様々なドライブ選択番号は、コントローラでは2台の装置を区別できるだけである。ドライブ番号の割り当ては実際にはDOSで行われる。

DOS はドライブ番号の割り当ての際は、厳密な順序に従っており、論理検索で発見した1台目のハードディスク(またはほかの装置)には必ず Cから割り当てていく。この検索では、まず、システムの BIOS による読み取りが行われ、次にシステムの CONFIG.SYS ファイルのデバイスドライバを介して読み取りが行われる。

BIOSの検索には、システムまたはプレーナー ボードのROM内のファームウェアだけでなく、 ハードディスクコントローラを始めとする追加さ れた周辺拡張ボードに搭載されたコードも含まれ る。ほとんどのディスクコントローラは、そのコー ドの先頭にメモリアドレス C8000 (Hex) を割り当 てている。またそのほとんどは、ユーザーが代替 アドレス D8000 (Hex) を設定できる。メモリは シーケンシャル検索されるため、開始アドレスが 低い(この場合 C8000 (Hex)) コントローラに接続 するドライブは最初に検出され、1台目のハード ディスクドライブ番号が割り当てられる。アドレ ス D8000 (Hex) から始まるメモリを使用するコン トローラが検出された場合、そのドライブ選択の 設定に関係なく、次のドライブ番号が割り当てら れる。ディスクコントローラが1つしかなく、そ れに2番目のベースアドレスであるD8000 (Hex) が割り当てられている場合は、1台目として認識 されることに注意しなければならない。ドライブ またはそれに接続しているドライブには、Cから 始まる DOS の割り当てが行われる。

ドライブ選択ジャンパスイッチ(およびケーブルのひねり)で特定のコントローラに接続されているハードディスクを識別し、ベースメモリアドレスでコントローラを識別するというのが、一般的なルールになっている。

ATアタッチメント配線

AT アタッチメントの方式では、別の方法で配線を簡単にしている。ケーブルの信号はすべて、1個のホストコネクタへ接続可能な2台のドライブの双方に接続される。ケーブルによってホストAT アタッチメントポートに接続可能な2台のドライブは、同じピン上のまったく同じ信号を受け取る。IBM ST506 および ESDI 接続において2台中の1台を識別するのに、リボンケーブルのねじりは一切使用しない。その代わりに、それぞれのAT アタッチメントインターフェイスドライブの入出力信号は、制御信号とタイミングで識別される。

■複数のドライブ

しかしながら、2台のドライブが1つのATアタッチメントポートに接続された場合、両者は同じようには動作しない。一方のドライブはマスター、もう一方はスレーブと呼ばれるが、マスタードライブは名目だけのマスターで、スレーブを制御することはできない。マスターが唯一優先される機能は、2ドライブシステムにおける両ドライブの信号のデコードだけである。

AT アタッチメントドライブはすべて、マスターまたはスレーブになることができる。これはドライブのジャンパの設定により決定される。ある位置にジャンパが設定されると、そのドライブはマスターとして動作し、違う位置に設定されたドライブはスレーブになる。

1台のマスターと1台のスレーブしか1つのATアタッチメント接続では許容されないため、1つのATアタッチメントチェーンにおける2台のドライブは、システムが動作するためには、それぞれマスター/スレーブジャンパを正しく設定する必要がある。大抵のドライブはマスターとして動作するようにジャンパ設定されて出荷されているため、ユーザーは短いチェーンへ増設する2台目のATアタッチメントドライブの方だけを変更すればよい。

■ターミネータ

AT アタッチメントドライブをインストールす

る場合、通常は、ST506またはESDIドライブのようにターミネータに配慮する必要はない。ATアタッチメント設計ではターミネータは不要である。拡張カードを拡張バスに差し込むのとまったく同様に、ATアタッチメントバスは可能性のある負荷、つまり0、1、または2台のドライブが最適な負荷として接続できるように設計されている。ATアタッチメントインストールとはハードディスクをバスに差し込むことにすぎないのだ。

SCSI 接続

SCSIシステムを構成するには、独特の配慮が必要になる。SCSIのID番号、すべてのドライブの接続、および装置のチェーン全体の正しい終端を設定する必要がある。

■ SCSI ID 番号

SCSIでは、任意の順序で7台の装置をチェーンすることにより、それらの装置を任意の順序で接続できる。SCSIでは、装置を区別するために、0から6までのSCSIID番号をそれぞれの装置に割り当てる必要がある(ホストアダプタは自動的に装置7となる)。

外付け SCSI 装置のほとんどは、装置の後部パネルにある押しボタンまたは回転スイッチで ID 番号を割り当てる。また、ハードディスクのような内蔵型 SCSI 装置は、一般に SCSI ID を設定するジャンパまたはスイッチを数個持っている。最も大事なことは、単純なことだが、SCSI ID 番号はいずれも重複してはならない。つまり、同じ SCSIチェーン上の 2 台以上の装置に同じ ID 番号を割り当ててはいけないということである。

SCSI標準規格自体が SCSI ID 番号の割り当てには完全な自由を認めている(番号の違いはアービトレーションの際に高い番号に優先権があるだけ)にもかかわらず、ホストアダプタ用のソフトウェアの開発者の中には、SCSI ID 要求についてかなり頑固な者もいる。Western Digital の WD1002コントローラエミュレーション機能をブート ROMに組み込んでいるホストアダプタのほとんどは、コンピュータをブートする SCSI ドライブを ID 番号 0 に設定する必要がある。どのような場合でも、

新しいハードディスクをインストールするときには、競合しないように、ホストアダプタに接続されているすべての SCSI 装置の SCSI ID を確認する必要があるだろう。

■ SCSI 配線

SCSI はバスであるため、デイジーチェーンにより装置を接続する。つまり、ホストアダプタから各 SCSI 装置までの接続にはストレートケーブル(ST506 のようなねじれのないもの)を使用するということである。

ハードディスクのような内蔵型 SCSI 装置では、複数のコネクタが付いている単純なフラットリボンケーブルを使用する。コネクタはすべて同一信号を持つため、どの SCSI 装置に対しても接続しやすいコネクタをどれでも使用できる。装置とホストアダプタは SCSI ID 番号を使用して、コマンドとデータの行き先を分類する。

外部の SCSI 配線は若干異なる。まず、ホストアダプタから外部の SCSI チェーンの1台目の装置へケーブルを1本渡す。2台目の装置に対しては、別のケーブルを1台目の装置に差し込み、そのケーブルのもう一方の端を2台目の装置に差し込む。装置を1台追加するごとに、これを繰り返して接続していく。

外付け SCSI 装置のほとんどは、このようなデイジーチェーン接続が簡単にできるように、SCSIコネクタを2つ持っている。この2つのコネクタのどちらにどちらのケーブルを接続しても問題はない。機能的にはこれらのコネクタは同一で、各々が信号の入出力に等しく対応する。

SCSI 規格のもとでは、2 台の外付け SCSI 装置間のケーブルは最低 0.3 メートル必要とされている。また同時に、SCSI チェーンにおける全ケーブルの総長は 6 メートル以内でなくてはいけない。そして、外部 SCSI ケーブルはシールドされていなくてはならない。

標準 SCSI コネクタは 50 ピンで、セントロニクスプリンタコネクタの拡大版のようなものである。一方、少数のホストアダプタや外付け SCSI 装置のいくつかは、25 ピン Dsub コネクタ (パーソナルコンピュータ後部のパラレルポートのようなも

の)を使用する。したがって、両者の装置を適合 させるためにはアダプタケーブルが必要となる。 SCSI デイジーチェーンの最後には25ピンSCSI 装置をもってくるとよい。

SCSI ケーブルの接続とデイジーチェーンの終 端を完了した後で、各コネクタが確実に接続され るように、各 SCSI コネクタの固定クリップや固 定ワイヤをきっちり止めたほうがよい。SCSI接 続ではこのような機構的なロックが特に重要であ る。なぜなら、旧式のクリスマス用のライトのよ うなこの配線では、1つが動作しなくなるとすべ てが動作しなくなるからである。SCSI接続では、 チェーンの中の1台の装置のコネクタが緩んで接 触できなくなると、その装置だけでなく、その後 に接続された装置すべてがコミュニケーションで きなくなる。さらに、チェーンが正確に終端され ないため、チェーン内の最初のほうの装置でさえ、 動作に信頼性がなくなる。各SCSIコネクタのワ イヤを確実にロックすれば、コネクタが偶然緩ん でしまうようなことは起こさずにすむ。

■ SCSI のターミネータ

最終的には、SCSI デイジーチェーンに終わり がくる。接続する周辺装置がこれ以上ない最後の 1台の装置がその終わりである。このとき、SCSI ケーブルチェーンに不要な信号が流れないように、 SCSIシステム全体を正確に終端させる必要があ る。終端方法としては、内部でレジスタパックを 使って終端させる、外部にダミーのターミネータ プラグを使用する、もしくは、スイッチを使用す るといった3つの方法がよく使用されている。「レ ジスタパック(集合抵抗)」は回路基板に直接接続 する部品で、ST506 および ESDI 装置にも使用さ れている。ほかのインターフェイスとは異なり、 SCSI 装置は通常 3 個の (1 個ではない) レジスタ パックを終端に使用する。パーソナルコンピュー 夕用の SCSI ホストアダプタとハードディスクの ほとんどでは、終端レジスタがあらかじめ取り付 けられている。

終端抵抗は簡単に見つけることができる。総約 1 インチ、横 $1/4\sim3/8$ インチ、厚み約 4/5 インチの同じ部品が 3 つある。多くに共通しているこ

とは、これらのレジスタパックは赤、茶黄、または黒で光沢があることと、SCSI 装置またはホストアダプタの SCSI コネクタの側にあるということである。レジスタパックは必要に応じて、回路基板上のソケットから引き抜いて、簡単に取りはずすことができる。

外部 SCSI 装置のターミネータはプラグの形をしており、SCSI 装置後部の SCSI ジャックをすこし延長したように見える。終端プラグの片方は SCSI 装置のジャックの1つに差し込まれ、もう一方のダミープラグには別の SCSI ケーブルに接続されるジャックとなっている。しかし、外部終端の中には、後部に2つ目のジャックを備えていないものもある。一般的に2つ目のジャックがなくても問題はない。ダミープラグは SCSI チェーンにおいて最後の装置にのみ差し込まれるからである。

終端を行う3番目の方法であるスイッチは、外付け装置と内蔵型装置の両方にある。1個のスイッチで全体的な終端を行うこともあるが、SCSIドライブが3列のDIPスイッチを持っていることもあり、その場合、それらのDIPスイッチはすべて、終端が行われているかどうかを選択すために同じ位置にフリップされなければならない。このスイッチはSCSI装置自身もしくは外付け装置のケースについている。

外付け SCSI 装置の中には、ケース内のドライブ

上にある終端を使用しなければならないものがわずかにある。したがって、このような装置では、終端を設定するのに装置を分解しなければならない。

SCSI 仕様では、SCSI チェーンにおける最初と最後の装置は終端させなければならない。パーソナルコンピュータでほとんどの場合、最初の装置は SCSI ホストアダプタである。1 台の内蔵型ハードディスクをホストアダプタにインストールした場合、これはチェーンにおけるもう一方の終わりとなり、ターミネータが必要である。インストールするのが外付けハードディスクの場合でも同様である。

1つのホストアダプタに複数の装置を接続した場合、ターミネータの問題は複雑になる。一般に、ホストアダプタは、内蔵型および外付けの両装置が接続されている場合を除き、SCSIチェーンの両端に1つづつ必要である。内部と外部の両方に装置を接続している場合には、終端をホストアダプタから取りはずす必要がある。その場合、内部のSCSIケーブルの終わりに一番近い装置は終端される必要があるが、これは、ケーブルのデイジーチェーン接続の終わりに位置する外付け装置で、ケーブルのプラグが差し込まれていないコネクタを持つ装置のみがそうする必要があるのと同様である。ほかのすべての装置のターミネータは取り外すかまたはオフに切り換える。

21.11 ハードディスクのセットアップ

装置を物理的に取り付けて配線したら、それをコンピュータに知らせる必要がある。ディスクパラメータがファームウェアに固定されている PC、XT、およびサードパーティのシステムの場合は、何もする必要はない。ファームウェアは適切なメッセージをシステムへ送信し、システムにどうなっているかを知らせる。しかし、AT 以降のコンピュータでは、新しいハードディスク用にシステムをセットアップするためには、実際にいくつかのステップを踏まなければならない。

ATドライブの種類

AT (および XT の 286 モデル)から、IBM はディスクの構成情報を様々な方法で格納することにより、ハードディスクの選択の幅を広げた。ハードディスクの BIOS には 15 種類の設定が組み込まれており、使用されているパラメータのセットを示すポインタとして、CMOS の 2 分の 1 バイトが使用されている。これらの設定はディスクパラメータと同じ形式であり、使用するディスクのパラメータと一致しなければならない。

ATのセットアッププログラムを実行して、手持ちのディスクドライブに関する正確な情報をこの特殊なメモリ領域に書き込むことになる。標準のIBMコントローラがサポートしている2台のドライブは、それぞれリスト内のどの種類のドライブでもかまわない。実際、異なる種類のドライブを混在させることもできる。

後になって、IBM コンピュータや互換機は、コントローラのメモリ内にあらかじめ定義された様々な設定を拡張したため、必然的に、CMOS のポインタの記憶領域も1バイトに拡張された。これらのシステムでも、1つのコントローラに2種類のドライブを接続できる。

概して IBM は、ドライブの各種類に何番を割り当てるかについては一貫している。AT で使用された最初の 15 種類のドライブに対する番号は、選択肢の増えたその後のマシンでも使われ続けている。

互換機メーカーは、最初の15種類のドライブについてはIBMをコピーしたが、その後の展開としては、その多くが独自の方向に進んだ。実際、多くのメーカーが、IBMよりも先にハードディスクの種類の選択の幅を広げ始めた。パラメータはBIOS固有のものであり、メーカー間で異なるだけでなく、ときには同じメーカーでもモデル間で異なることもある。一般に、セットアップディスクもしくはBIOSに組み込まれた形でパーソナルコンピュータと共に供給されるセットアッププログラムを実行すれば、様々なドライブオプションを確認することができる。

サポートされていないドライブ

増設したいドライブがサポートされていない場合、いくつかの方法でそのドライブを増設できる。最も簡単なのは、自動セクタトランスレーション機能を持つドライブを使用することである。これはシステムを正確な容量に設定している限り、自動的に最適な設定を行うものである。この方法でない場合は、サポートされていないドライブを適合させるには、特別なソフトウェアが必要になるか、もしくはドライブ容量の一部を使えなくする必要がある。

ドライブインストール用の特別なソフトウェア、たとえば、On-Track Computer System の Disk Manager や Strage Dimension の Speed Stor は、サポートされていないディスクをシステムに適合できるようにソフトウェアドライバをセットアップするものである。インストールソフトウェアを実行し、メニューから適当なディスクモデルを選択すると、自動的に適合が行われる。このソフトウェアによるセットアップシステムの唯一の欠点は、DOS でしか動作しないことである。

しかし、ユーザーがドライブのパラメータの設定ができる場合は、実際に使用するドライブよりもシリンダ数が少ないドライブの種別番号に合わせることにより、特定のハードディスクを動作させることができる。たとえば、1,224のシリンダを持つドライブの場合は、そのドライブとヘッドの数が同じでシリンダが1,024というタイプのドライブを選択するのである。この方法の欠点は、残りの200個分のシリンダにはアクセスできないため、容量が無駄になってしまうことである。

同様に、システムが実際持っているよりも少ないヘッド数を指定することもできるが、その場合、恐らくかなり多くの容量をあきらめることになる。この方法は最後の手段にしたほうがよいだろう。

ドライブ動作インジケータ

ほとんどのハードディスクはドライブ動作インジケータ (赤または緑の小さな LED) を持っており、システムがドライブへアクセスしたときに点灯するようになっている。しかし、新しいハードディスクをシステムにインストールすると、システムの電源スイッチを入れると同時にこの LEDが点灯し、そのまま点灯し続けることに気付くはずだ。このように点灯し続けるのは、問題が発生していることを示しているのではなく、IBM ATのハードディスク設計仕様による現象である。

内蔵型のハードディスクを搭載した IBM コンピュータはすべて、フロントパネルにドライブ動作インジケータを持っている。いずれの場合でも、このインジケータを制御する信号は、ディスクドライブ自体ではなくハードディスクコントローラから得られる。したがって、インジケータには、

ドライブが実際行っている動作ではなく、コントローラがドライブに伝えたことが反映されているのである。コントローラはドライブを絶え間なく選択してアクティブになっていると思わせ、その

結果インジケータランプの点灯が持続するのである。赤ランプが気になる場合は、大抵、ドライブの LED の接続を切断したり LED のリードを切って消すことができる。

21.12 ハードディスクのフォーマット

新しいハードディスクは生まれたばかりの赤ん坊と同じである。いくつかの能力は備わっているが、知能とメモリは基本的に空白である。世の中のことを学んでからでなければ、設計通りに動作することはできない。たとえば、ドライブの多くは、同じ長さのトラックから記憶領域として使用する個々のセクタを構成する必要がある。フロッピーディスクドライブと同様、ハードディスクドライブを構成することをフォーマットという。しかし、ハードディスクは、ローレベルフォーマットと DOS フォーマットという 2 つのレベルの構成があるという点でフロッピーディスクと異なる。どちらも DOS の下でディスクを使用する必要があるが、それぞれは独自の規則を持ち、セットアップに独自の手順を必要とする。

ローレベルフォーマット

ドライブはセクタを各トラックに個別に定義しなければならない。デバイスレベルインターフェイスのハードディスクは、通常、ステッパモータによるヘッドアクチュエータのステップか、ボイスコイル駆動ドライブのサーボプラッタ上のサーボトラックによって、トラックとシリンダがあらかじめ定義されているが、セクタは見ることも感じることもできない。ディスクにデータを書き込むには、後で情報を検出および検索できるように、道しるべとして利用されるマークをセクタにつける必要がある。ハードディスクにセクタを定義するプロセスをローレベルフォーマットという。これは、通常のDOSコマンドが到達するよりも低い制御レベルで行われるからである。

ローレベルフォーマットを行うためには、ロー

レベルフォーマットプログラムを実行する必要が ある。IBM 互換機と共に出荷される DOS のバー ジョンには、LLFORMAT または HDPREP とい う名前を持つプログラムが含まれているものがあ る。ほとんどのディスク診断プログラムにも、ロー レベルフォーマットルーチンが含まれている。1987 年以前の IBM のパーソナルコンピュータ用のロー レベルフォーマッタには、IBM が PC および AT システムに付けて販売した高度診断プログラムが含 まれていた。PS/2シリーズのローレベルフォー マットプログラムは、各コンピュータに付属のリ ファレンスディスクに含まれているが、隠されて いる。したがって、このローレベルフォーマット プログラムを使用するときは、PS/2をリファレ ンスディスケットからブートしなければならない。 "press Enter to continue"と聞いてくる最初の画 面で Enter キーを押す。すると、7つのメニュー 選択肢があるメインメニュー画面が表示される が、これは無視する。ここで、Ctrl キーと A キー (Ctrl-A)を同時に押す。これでマシンは高度診断 プログラムをロードする。ローレベルフォーマッ トルーチンをメニューから選択することもできる。 ST506 および ESDI ハードディスクコントロー ラのアフターマーケットのメーカーの多くは、自 社製品に接続されるハードディスクをローレベル フォーマットするために必要なプログラムを、コ ントローラの ROM ファームウェアの中に入れて いる。これらのルーチンは、通常、DOS DEBUG プログラムの GO コマンドで実行される。たとえ ば、これらのルーチンは、DEBUG ハイフンプロ ンプトに対して下記の命令を入力することにより アクセスされる。

G=C800:5

これをコントローラで試してみて動作しない場合、システムがハングアップするだろう。動作した場合は、画面上にプロンプトがでる。組み込まれたローレベルフォーマットルーチンには、アドイン BIOS における位置が数バイト違うものがある。先の例で動作しなかった場合は、C800:6または C800:8 で実行してみるとよい。違っていても、コンピュータがハングアップする以外、ダメージは生じない。特に、新しいハードディスクには何もないから、データを傷つけることもない。

ほとんどのシステムレベルインターフェイスのハードディスクドライブ(ほとんどのハードディスクということ)は、ローレベルフォーマットがあらかじめ行われている。中には、ローレベルフォーマットができないものがある。たとえば、ATアタッチメントドライブは、実際のドライブの形状をパーソナルコンピュータで読めないようにするセクタトランスレーション機能を使用している。これらのドライブのメーカーは、ハードディスクが工場でいった人フォーマットされた後は二度とフォーマットする必要はないと考えているのである。

ディスク回復のためのフォーマット

19章で述べたように、磁気媒体はすべて時間とともに劣化していく。これはハードディスク媒体における磁束遷移が時間の経過に伴って弱くなるということである。磁束遷移によってデータが書き込まれると同時に、磁力は徐々に失われていく。そして最終的には磁力が弱くなって、読み取り時にエラーを発生することになる。ハードディスクのデータ領域の磁束遷移は書き込みを行うたびに磁力を回復し、そのたびに劣化への長い歩みを始める。ローレベルフォーマット情報がいったん書き込まれると、少なくともディスクをもう一度ローレベルフォーマットしなければ、ディスクは決して回復されることはない。

ディスクの定期的なローレベルフォーマットは、 その信頼性を高め、ディスクエラーを防ぐことが できると思っている人もいる。事実、旧式のドラ イブはそうであった、ローレベルフォーマットに よってディスクエラーの発生を回避できたのである。そのようなドライブでは、バックアップおよびローレベルフォーマットプログラムの実行を2、3年に1回行うというのは、素晴らしいアイデアであり、ディスクの寿命を延ばすわけではなくても、万一システムに障害が発生した場合には、バックアップは価値あるものになる。しかし、最近のドライブは経年劣化に強い高い保磁力を持ったメディアを使用している。ディスクメーカーの多くは、ローレベルフォーマットの更新は現代の製品においてはもはや必要ないという意見である。

不良トラックと不良セクタ

ハードディスクのプラッタの製造の際、磁気媒体に欠陥が発生することがある。欠陥があると、データが適切に記録されない。欠陥が発生したセクタは不良セクタと呼ばれる。また、不良セクタを持つトラックは、不良トラックと呼ばれる。

コンピュータは、不良セクタについては、通常の使用からは排除することによって対処することができる。ローレベルフォーマット処理の際、正しく機能しないセクタが記録され、システムはそのセクタを使用しないようにするのである。不良セクタを別にすることの唯一の影響は、ハードディスクで使える容量が少しだけ減ることである。

ローレベルフォーマット用のプログラムの中には、フォーマット処理を始める前に不良セクタのデータを入力しなければならないものがある。これは無駄なように思われるが(フォーマットプログラムが別にチェックするため)、そうではない。工場の不良セクタのチェックは、フォーマットルーチンよりかなり厳しい。このような厳密なチェックによって、先々のトラブルの発生を最少限に抑えることができるのである。うんざりするだろうが、ローレベルフォーマットプログラムがを実行するとき、必要に応じて、不良セクタのデータを入力しなければならない。不良セクタのリストは、通常、ディスクドライブに添付されている紙か、ドライブ自体に貼り付けられたラベルに記されている

不良セクタが悪影響を及ぼす唯一のケースは、 ディスクの先頭トラックで不良が発生したときで ある。先頭トラック(トラック 0)は、パーティションとブートデータの記録に使用されている。この情報は必ずディスクの先頭トラックになければならない。ここに書き込めなければ、ディスクは動作しない。

トラック 0 が不良のハードディスクを購入した場合は、購入先の業者に返却するとよい。ヘッドクラッシュの後でディスクを再フォーマットして、その最中にトラック 0 が不良であることが判明したら、ディスクを買い替えなければならない。

パーティション

ローレベルフォーマットをハードディスクに行ったら、今度はパーティションを行う必要がある。パーティションの作業は、オペレーティングシステムの仕事である。パーティションによって、ハードディスクの論理構造が、オペレーティングシステムと互換性のある形式に設定される。

IBM のパーティション用プログラムは FDISK と呼ばれる。ディスクにローレベルフォーマットを行った後で、FDISK を実行しなければ、DOS (または OS/2) オペレーティングシステムを使用する作業は何もできない。

DOSフォーマット

ディスクを使えるようにする最後のステップは、使用したいオペレーティングシステムによるフォーマットである。DOS の場合は、FORMAT プログラムを実行するということである。現在の DOS の FORMAT プログラムでは、ハードディスクのデータ領域には上書きせず、単にファイルアロケーションテーブルを新しくするだけである(ディスクをアンフォーマットできるのはそのためである。DOS フォーマット作業により隠されたすべてのファイルを見つけ出せるように、FAT のコピーをディスク上の任意の場所に格納することにより、アンフォーマットプログラムは FAT を再構成することができる)。

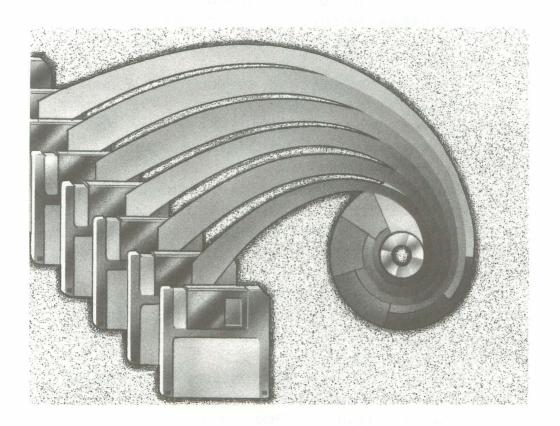
ここで注意しておきたいのは、IBMのオペレーティングシステムは下位互換性はあっても、上位互換性はないことである。ハードディスクを DOS 5.0 でフォーマットし、DOS 3.3 のフロッピーディスクから立ち上げた場合、ハードディスクを読み取ることはできないのである。エラーメッセージが出るか、または数字とにこにこマークの変な組み合せでできたファイル名などが画面上に出てしまうことになる。ハードディスクへの書き込みには、ディスク上のフォーマット以前の DOS バージョンを使用してはならない。使用した場合、ディスクは回復できないダメージを受けることになる。

467-40800

dealer and the second s

第22章

光学記憶装置



光学記憶装置の技術は、性能、着脱式カートリッジ、大容量の条件をすべて満たすすばらしい技術である。現在、実用化されているシステムには、CD-ROMドライブ、WORMドライブ、書き換え可能型光ディスクドライブ、フロプティカルドライブの4種類があり、それぞれが独自の特徴を備えている。現時点ではほかの大容量記憶装置に取って代わるほどのものはないが、それぞれにほかにはない長所があり、今後、パーソナルコンピュータの世界で長らく使用されていくものと思われる。

60年代の新卒者にとって最も有望な産業が「プラスチック」であったとするなら、現代の新社会人に対するアドバイスは「光学」ということになる。レーザー光線の制御技術は、全産業に革命的な変化を引き起こすと思われる。実際、光の用途は癌の治療にまで広がってきている。

60年代においては「プラスチック」というアドバイスは、賢明な選択であると同時に安全なアドバイスでもあった。プラスチックの持つ大きな可能性は、すでに 60年代には明らかになっていたからである。光学技術についても同じことがいえる。光波は、すでに長距離伝送のための電気信号として使用されている。また、高速道路ではレーザーはレーダーに代わって、スピード違反の摘発装置に使用されている。そして現在では、音声は、主流の座を降りた塩化ビニール製の黒いレコード盤からではなく、ほとんどの場合、回転する CD から光学的に取り出されている。

コンピュータの分野では、特定の一技術ではなく、CD-ROMドライブ、WORMドライブ、書き換え可能型光ディスクドライブ、フロプティカルディスクドライブという4つの異なる光学技術が、長らく使用されてきた磁気記憶装置の座をおびやかしている。この4つの光学技術はいずれも、パーソナルコンピュータの特定用途に的を絞って開発されたもので、従来の磁気メディアを凌駕する長所を持っている。

数々の長所の中でも、最大の長所は記憶密度である。レーザー光線は、(通常は焦点を絞ることのできない) 磁界に比べて、容易に一点に焦点を合わせることができる。実際、光学記憶装置では、すでに一定領域あたりの記憶容量が磁気記憶装置の10倍を超えている。焦点をこれ以上小さく絞らずに記憶密度を現在の100倍に上げることが可能な新しい光学技術も、やがて開発されそうな勢いである。

また、光学記憶装置では、データの保存可能期間は非常に長い。大部分の光学記憶メディアでは、10年以上もの間、エラーなしで記憶内容を保存することができる。耐用年数は世紀の単位にまで伸びると予想される。これは、磁気記憶装置の今後の進化を考慮しても、それを圧倒するほどの長い期間である。

また、光学記憶装置のメディアとドライブは信頼性が高い。記憶メディア上を磁気を帯びた読み書きへッドが低空飛行する必要もなく、読み書きを行うメカニズムの中でメディアとの物理的な接触はほとんど発生しない。メディアの表面を傷つけることなく、メディア内に安全に格納されたデータを読み取る機能を本質的に備えているのである。

ただし意外なことに、全宇宙で最速である光の速度にもたとえられるこの時代にあって、 光学記憶システムの最大の欠点は速度にある。最新鋭の光学記憶システムでさも、磁気記憶 装置の速度には遠く及ばない。このため、光学記憶システムはこれまで一度も最速の記憶シ ステムの座を占めたことがない。しかし、そのほかの長所は、光学記憶システムがパーソナルコンピュータの世界で一定の地位を占めるには十分なものである。

光学技術を利用したパーソナルコンピュータ用の一般的な記憶システムは4つあるが、その中でCD-ROMドライブ、WORMドライブ、書き換え可能型光ディスクドライブの3つは、手段、メカニズム、そして、データをディスクメディアに記録する部分が最も優れている。フロプティカルドライブでも、書き換え可能型光ディスクドライブと同様の機能が実現されているが(事実、フロプティカルドライブは書き換え可能型光ディスクドライブの一種である)、両者には機構的な違いがある。どの光学記憶システムを使用するかは、データの記録方式によって決めることになる。

CD-ROMでは、ディスク内のデータは初めから記録されていたものしかない。CD-ROMドライブをパーソナルコンピュータに取り付けても、あらかじめディスクに記録されているデータを読み取ることしかできないのである。CD-ROMという名前の由来はここにある。Read-Only Memory (読み出し専用メモリ)の略語である。この性質を利用すれば、CD-ROMドライブは優れた出版媒体となる。出版元は、無断で複製されるのを防ぎながら、数百万台のパーソナルコンピュータに重要なファイル(プログラムファイル、データベースファイル、画像や音声のファイルなど)を配布することができる。

WORMドライブは、データを光学記憶メディアに書き込むことはできるが、古代人の石版と同じで、いったん書き込まれたものは変更することはできない。書き込まれたものは永久に記録され、子孫の代にまで伝わることになる。公文書や変更不可の監査会計簿などを保存する場合は、WORMにまさるメディアはない。

書き換え可能型光ディスクドライブは、ハードディスクに対する光学技術者からの挑戦状である。磁気ハードディスクドライブと同様に、書き換え可能な光ディスクメディアは、メガバイト単位のデータを一度に読み書きすることができる。ハードディスクと唯一異なる点は、焦点の小さなレーザー光線を使用して磁気的な記録を行うため、より小さなビットをより耐久性の高い記録メディアに記録できることである。

書き換え可能型光ディスクドライブが従来のハードディスクへの挑戦状なら、フロプティカルドライブはフロッピーディスクへの挑戦状である。フロッピーディスクと同様に、データの記録には磁気を使用しているが、焦点の鋭いレーザー光線の手助けによって、柔らかな薄いディスクにフロッピーよりはるかに多くのデータを詰め込むことができる。

22.1 CD-ROM

名前から明らかなように、CD-ROM は基本的に、デジタル記録システムであるコンパクトディスク(CD)を応用したものである。コンピュータの記憶装置にロックンロールがやって来たというわけだ。従来のオーディオ用コンパクトディスクと同様に、デジタルデータは、ディスクの表面に極微の穴を刻む特殊な記録装置を使用して、CD-ROMのマスターディスクに書き込まれる。穴としてコード化された情報は、光の反射率の変化を検出することで簡単に読み取ることができる(ディスクは銀色で光沢があるため、ピット部分は周囲よりも暗くなる)。

データピットは物理的な変形、つまりディスク上の単なるくぼみであるため、以前の塩化ビニール製のLPレコードの製造に使用していたのと同様のプレス装置を使用して、コード化された情報の微細なパターンを、数百枚のディスクにコピーすることができる。ただし、このような仕組みのために、一度CD-ROMに記録したデータは変更できない。

書き換え可能型 CD-ROM や読み出し専用 CD -ROM という言葉がマスコミで唐突に飛び出す ことがあるが、この2つの言葉は自己矛盾してい る。書き換え可能なものは読み出し専用にはなり えないし、そもそも ROM は読み出し専用メモリ の頭文字をとったものである。長い間登場が待たれ ている Tandy 社の「THOR」や、Sony から 1992 年に発売予定の記録可能な小型 CD など、CD へ の書き込みが可能なシステムがいくつか発表され ている。これらは決して ROM ではなく、書き換 え可能型のシステムに CD の読み取り機能を持た せたものである。「CD-ROM」という名前は、こ のシステムの元になっているものと機能を表して いる。CDは、現代のオーディオ愛好家が好む音響 再生メディアであるコンパクトディスクの略であ り、ROM は "Read-Only Memory" の略である。 パーソナルコンピュータ内の ROM チップと同様 に、CD-ROM のディスクにも変更不可能な形で

デジタル情報が格納されている。CD-ROMは、取り出しは可能だが、記録はできないようにしたデジタルコードのソースなのである。

一般的な ROM が、切手大のシリコン片に形成 されているのに対して、CD-ROMでは直径約5 インチの回転する銀色のディスクを使用している。 見た目はオーディオ用の CD とそっくりである。実 際にも、ディスク自体や記録されたビットはオー ディオ用のCDとほとんど同じである。オーディ オ用 CD とコンピュータ用 CD の最大の違いは、 記録の機構や方法ではなく、入っている情報の中 味にある。どちらもデジタル情報を記録している が、オーディオ用の CD プレーヤーでは、デジタ ルコードが、スピーカから流れるアナログの音楽 (あるいは専門家から音楽の範疇に分類されている もの) に変換される。一方、CD-ROMでは、記 録されたデジタルノイズはデジタルのままで取り 出され、デジタルのままでパーソナルコンピュー 夕によって処理される。

オーディオ用 CD と CD-ROM ディスクには共通点が多いため、パーソナルコンピュータ用 CD -ROM システムの大部分は、CD プレーヤー用の制御プログラムさえあれば、音楽用の CD を再生することができる。実際、コンピュータ用のほとんどの CD-ROM プレーヤーには音楽の再生機能が組み込まれている。フロントパネルにヘッドホンジャックを備えたものや、背面にオーディオ出力端子を備えたものも多く、コンピュータでデータ処理だけでなく、音楽も楽しむことができる。また、ほとんどのメーカーが、パーソナルコンピュータ用 CD-ROM プレーヤーに、オーディオ再生用のソフトウェアを標準添付している。

ただし、逆は真ならずである。オーディオ用 CD プレーヤーでは、通常、CD-ROM メディアを再生することはできない。取り出せるとしても雑音としてであり、CD-ROM の中味を利用できる形で取り出せるプレーヤーはない。CD-ROM ディスクのデータにアクセスするためには、コンピュー

タ用の CD-ROM ドライブが必要である。

コンピュータ用の CD-ROM プレーヤーは、 データの取り出しに高い精度を要求されるため、 オーディオ用のプレーヤーよりも高価である。音 楽用 CD であれば専門家でも聞き逃すほどのわず かな音の欠落が、コンピュータ用 CD-ROM では 致命的なデータの欠損になってしまう。小数点の位 置を誤って読み込んでしまった場合など、その数値 がたとえ0であったとしても、計算に重大な支障 をきたすことになる。こういう問題を完全に回避 するのは無理でも、最小限にとどめるために、コン ピュータ用 CD-ROM プレーヤーには、オーディ オ用プレーヤーよりもはるかに強力なエラー訂正回 路が組み込まれている。また、CD-ROM プレー ヤーでは特殊な遠隔操作(パーソナルコンピュータ から発行されるコマンドを実行する機能) が必要で ある。コンピュータ用 CD-ROM プレーヤー自体 には、ディスクを回転させる機能しかない。どん な情報を検索して読み取るのかについては、コン ピュータが指示してやらなければならない。また、 CD-ROM が取り出した情報 (テキストであった り、グラフィックイメージであったり、あるいは音 である場合もある)は、視覚的、聴覚的に、コン ピュータが表わす必要がある。幸い、CD-ROM ディスクは交換が可能なメディアとして設計され ているため、使用したいディスクがたくさんある 場合でも、CD-ROM プレーヤーは 1 台あればよ い。オーディオ用 CD プレーヤーと同様に、コン ピュータ用 CD-ROM プレーヤーでも、ディス クは交換することができる。したがって、1台の CD-ROM プレーヤーで、様々な CD-ROM へ のアクセスが可能である。

オーディオ用 CD とコンピュータ用 CD は、用途の面にも共通点がある。両者とも出版用のメディアとして最適である。新聞、書籍、ビデオ、レコードなどは、自宅での娯楽や情報収集の手段として便利であるが、CD-ROM も同様の手段として利用することができる。

CD-ROM はこの種の用途に最適のメディアである。ディスク自体の製造が容易な上(音楽用 CD のプレス設備で製造できる)、これまでの出版メディアに比べてコストが安い。さらに、容量は一

般的に非常に大きく、紙での出版が暗黒時代の遺物のように感じられるほどである。1 枚の CD には最大 600M バイトのデータを収めることができる。これは、30 万ページで、分厚い書籍でも約 150 冊分に相当する量である。

メディア

CD-ROMシステムの心臓はディスクにある。あらかじめデータを収めたディスクがなければ、CD-ROMシステムは何の役にもたたない。CD-ROMには書き込みを行えないため、読み取りたいデータがなければ、ドライブを持っていても何もすることはできない。つまり、CD-ROMプレーヤーは、何となく買うものではなく、プレーヤーにセットするソフトウェアを持っている、もしくはそれが決まった後に購入するものなのである。オーディオ用CDで聞けるのがハワイアンだけだったとしたら、専門家や物好きなファン以外に、CDプレーヤーを買う人はいないはずである。

万人の趣味を満たせるほどではないにしろ、CD -ROM ディスクには幅広い分野のものがそろっている。製作の容易さと低コストを考えると、大きく成長する可能性を秘めたメディアである。

CD-ROM ディスクへの情報の記録方法は、オーディオ用 CD の場合とまったく同じである。違うのは、オーディオ用 CD が最大 75 分の音楽を記録しているのに対して、CD-ROM には数百メガバイトのデータが詰まっている点だけである。データは、単純なテキストから、SVGA 用の画像、プログラム、果てはマルチメディア用の音楽まで、どんなものでもかまわない。

CD-ROMの銀色のディスクには、デジタルデータが光学形式で収められている。オーディオ用の場合でもコンピュータ用の場合でも、デジタルデータは、CD表面のピットに吸収される光の有無として読み取られるビットパターンでコード化されている。CD自体は光沢があって光をよく反射するが、ピット部分は反射しない。レーザー光線をディスクに当てると、反射光が光検出器に入る。光検出器は、ピットと無傷の表面からの反射光の強度の違いを検出する。それに従って、ビットのパターンがデジタルデータにコード化される

のである。

(音楽用ディスクかデータディスクかを問わず) プレーヤーにセットする CD には、ピットという くぼみが刻まれている(プレスされている)。これ は、オーディオ用 CD システムを始めて開発した メーカーが、レコードメーカーに売り込んだ点の 1つであった。CDは、基本的に従来の塩化ビニー ル製のレコードと同じ方法で製造されている。ま ず、未使用のディスクに特殊な装置で高出力のレー ザー光線を当てて、ピットを刻む。これで、マス ターディスクができあがる。次に、このマスター ディスクから鋳型を作る。この鋳型を使用して、 打ち抜き型からコインを作るように CD をプレス するのである。プレスが終わった CD の表面は、 ピットの部分を除いて、光を反射するようにアル ミニウム加工され、その後、化学変化(酸化)や物 理的な変化(傷)を防ぐために、表面全体を透明な プラスチックで覆う。CD とレコードが大きく違 うのは、CDは片面にしか記録しない点と、記録 密度が高い点である。

CDのこの精密な製造工程は、実は、ディスクの製造コストにはほとんど影響していない。価格の大部分は、ディスク上のデータのコスト、つまり、販売するための情報を制作し、収集し、編集した人々へ支払われるロイヤリティが占めている。書籍に記録されたデータも同じような価格で販売されているが、書籍はCDよりも大きく、データが実際に見えるため、書籍の方が価値が高いと感じる人もいるはずである。

しかし、1冊の本を作るのも1枚のCD-ROMを作るのも、製造コストは同じようなものであるが、CD-ROMの方が入っているデータが多い分だけ得である。同じデータでも書籍にした方が重くなるため、本の価値を重さではかる人は、書籍の方が価値があると考えるかもしれない。しかし、データ量やデータあたりの価格を基準にすれば、CD-ROMは書籍よりもかなり安価である。データはそれ自体に価値があるのであり、決して外観に価値があるわけではない。

CD は 2 つの理由で耐用年数が長い。1 つは、表面が透明なプラスチックで覆われているためであり、もう1 つは、システムの構造上、再生面に接

触するものがないため、傷がつきにくいのである (事実 CD では、再生時にレーザー光線で走査する 側に比べて、ラベルが貼ってある側の方が傷に弱い)。データピットはディスク自体の層の内側に密 閉されているため、レーザー光線以外が接触する ことはない。したがって、決して擦り切れること はない。エラーが発生するのは、故意または不注 意(たとえば、ケースに入れずにディスクを重ねて おいた場合など)によって表面に傷をつけた場合 だけである。データ内でのエラーの発生を防ぐた めにエラー訂正機能が組み込まれてはいるが、大 きな傷があれば、ディスクがまったく読めなくな ることもある。

音楽やデータといったデジタル情報を販売する 場合、数百メガバイトの情報を数千の相手に届け る媒体として、コンパクトディスクは最適な選択 である。コストが安いため、デジタル情報の出版 メディアとしては主役の座を占めている。入手可 能な CD-ROM タイトルは現在数百種類に上る が、それぞれに百科事典並みのデータが詰まって いるのである。

プレーヤー

CD-ROM に弱点があるとすれば、プレーヤーがそうだといえる。CD-ROM ディスク内にコード化して収められたデータを検索、転送する速度は CD-ROM プレーヤーによって決まるが、この速度が実に遅いのである。

この異常な低速度の根本原因は、CD-ROMがオーディオ用として生まれたことにある。データの取り出しに求められる条件は、音楽の再生に必要な条件とはまったく異なる。音楽の場合は、データの処理上の必要から、データの転送速度を遅くしなければならない。HiFi サウンドシステムの設計では、再生時間が充分であることが必須条件だ。CDは、中程度の長さのクラシック曲が1枚に収まるように設計された。これは、具体的にいえば、1時間を少し超える時間で、ベートーベンの『第九交響曲』が収録できる長さである。600Mバイトを60分で割れば、166Kバイト/secの転送速度が得られる。オーバーヘッド(情報のフォーマットなど)を考慮すれば、速度はさらに遅くな

る。ほとんどの CD-ROM プレーヤーの実質データ転送速度が 150K バイト/sec であるのは、これにほぼ一致する。

さらに悪いことに、できる限り大量の音楽を詰 め込むために、CDシステムでは、定線速度記録方 式を採用している。ディスク盤の回転速度は、ディ スクの中心から読み書きヘッドまでの距離に応じ て決まる。ヘッドがトラック間を移動するにつれ て、ディスクの回転速度は変わるのである。音楽 の場合は、トラックに沿って連続的に再生される ので何も問題はない。トラック間の速度差は小さ く、ドライブは直ちに速度を調整することができ る。一方、CDシステムでランダムアクセスおよ び急激な速度の変更を実現することは大きな問題 である。ランダムアクセスのためには、ドライブ は一番内側のトラックから一番外側のトラックへ ヘッドを一気に移動する必要があり、その際速度 を急激に変えなければならない。しかし、ディス クの回転には慣性の作用があるため、回転の加減 速の際に必ず一瞬の間が生じる。しかも、CDシ ステムの光学ヘッドはハードディスク機構の浮遊 ヘッドよりもかなり大きく重い。これでは、ヘッ ドの移動にますます時間がかかってしまう。結果 的に、CD-ROMプレーヤーの平均アクセス時間 は、300ミリ秒にもなっている。

この低速度は、少しずつではあるが改善の方向に向かっている。NEC はすでに倍速プレーヤーを発表している。この新しいプレーヤーでは、通常のCD-ROM プレーヤーの 2 倍の速度でディスクを回転させることによって、メディアには変更を加えずに、システムのデータ転送速度を 300K バイト/sec にまで引き上げている。これでも速度はまだ不十分であるが、データの記録に CD-ROM を使用したデジタルビデオシステムやアニメーションシステムでは、動画の速度が大幅に向上する可能性がある。現在では、さらに 3 倍速、4 倍速といった高速ドライブも登場している。

CD-ROM 技術には、オーディオ分野で生まれたがゆえに有利な点もある。オーディオ用プレーヤーの便利な機能を数多く受け継いでいるのである。たとえば、CD-ROM プレーヤーの多くは、オーディオ用プレーヤーと同様に、ボタンを押す

とせり出してくるスライド式の受け皿でCDを装着するようになっている。この受け皿にCDを乗せてもう一度ボタンを押すと、CDが装着される。

中にはもっと簡単にディスクを装着できるものもある。ディスクを、市販のオーディオ CD 用のプラスチックケースに似た特殊なキャリアに入れれば、CD-ROM プレーヤーにディスクをセットする際にも、キャリアごとスロットに入れるだけでよい。この方法は便利な上、ディスクを保護できる(傷や指紋が付く心配がない)ことから、キャリアをいくつも買って自分の CD-ROM をすべて入れているユーザーも多い。なお、CD-ROM の交換には、オーディオ用の CD チェンジャとよく似たマルチディスクカートリッジを使用することもできる。

ソフトウェア

コンピュータシステムに正しくインストールされた CD-ROM システムでは、DOS のドライブが1つ増えたのと同じ感覚で、装着したディスクにアクセスすることができる。CD-ROM ドライブには専用のドライブ名が割り当てられるため、DIR コマンドを実行して簡単にディスクの中味を調べることもできる。

ただし、ディスク内のデータへのアクセスはそれほど簡単ではない。CD-ROMには、通常、専用の検索ソフトが付属しており、記録されたデータを読み取るためには、このソフトを使用しなければならないのである。しかし、ユーザーは、また新しいソフトの使用方法を習得しなければならないのかとうんざりする必要はない。こういったソフトのほとんどは、メニューから選択する方式を採用しており、直感で使用することができる。スポンジに水がしみ込むように、すぐにプログラムの隅々までマスターできるはずである。

このプログラムは使う方の我々にとっては簡単だが、コンピュータシステムにとっては簡単ではない。プログラムの実行には、大量のメモリが必要になる。通常は、DOSの制限である 640K バイトを使いきってしまうことになる。この大食漢のプログラムのせいで、CD-ROM を使う前に、気に入っている TSR プログラムを外さざるをえな

い場合もあるだろう。

また、CD-ROMプログラムは、ハードディスクにも専用の記憶スペースが必要である。動作に必要なファイルをすべてハードディスクに転送すると、数百 K バイトになる。さらに、CD-ROMディスクには、専用のアクセスソフトウェアが必要であることが多い。ディスクを何枚も買えば、それぞれのディスク専用のプログラムを格納するために、かなり大きな記憶スペースを割くことになる。

要するに、CD-ROMドライブを導入して使いたい場合は、DOSの限度である640Kバイトのメモリとハードディスクを備えたパーソナルコンピュータが必要になるということである。なお、CD-ROMドライバと検索ソフトウェアは、DOS3.10以降でなければ動作しない。

標準規格

パーソナルコンピュータに増設されるほかの周辺機器と同様に、CD-ROMプレーヤーとそれに使用するメディアは完全に標準化されている。CD-ROMディスクは市販のどのプレーヤーでも使用可能であり、今後購入するデジタルライブラリは、現在も将来も読み取りが保証されている。CD-ROMのブランドと、所有しているCD-ROMシステムとの互換性を気にする必要もない。

ただし、購入する CD-ROM ディスクが自分のコンピュータのソフトウェアアーキテクチャに合うかどうかについては、確認しておかなければならない。IBM PC や Macintosh といった特定のパーソナルコンピュータ専用のディスクもたくさん販売されており、そのコンピュータで動作させるためにアクセスソフトウェアが異なるからである。したがって、ディスクを注文する場合は、使用しているパーソナルコンピュータの機種を指定するのを忘れてはならない。

CD-ROM ディスク上のデータは、特殊なフォーマットで格納されているが(トラックやセクタの配置はハードディスクと似ている)、ありがたいことに、業界標準になっているフォーマットが1つある。現在販売されている CD-ROM ディスク

と CD-ROM プレーヤーはほぼすべてが、High Sierra フォーマットか、またはその最新版である ISO 9660 仕様に準拠している。

この2つの標準規格の違いは、事実上、一部のCD-ROMプレーヤー(特に、High Sierraフォーマットのディスク専用の古い機種)に付属しているドライバソフトウェアが、ISO 9660フォーマットのディスクを認識できない可能性がある点だけである。その場合、"Disk not High Sierra"というようなエラーメッセージが表示される。問題となるドライバは、Microsoft CD-ROM エクステンション(DOS の制御下でCD-ROM プレーヤーを使用できるようにするドライバ)の旧バージョンで、このドライバは ISO 9660フォーマットのディスクを認識できない。

CD-ROM を DOS で使用できるようにするた めに、Microsoftは、標準として少量のオペレー ティングプログラムを作成し、このコードを DOS に追加することによってプレーヤーが動作する ようにした。これを CD-ROM エクステンショ ンといい、いくつかのバージョンが作成されてい る。バージョン 2.0 より前の CD-ROM エクステ ンションでは、High Sierra と ISO 9660 の間で 前述のような非互換性の問題が発生する。解決方法 は、CD-ROM プレーヤーを購入したベンダーか ら、プレーヤー付属の CD-ROM エクステンショ ンをアップグレードするためのソフトウェアを購入 することである。このようなことをしなくてもす むように、CD-ROM プレーヤーを購入する場合 は、バージョン 2.0 以降の Microsoft CD-ROM エクステンションが付属していることを確認する とよい。

インターフェイス

CD-ROM プレーヤーとパーソナルコンピュータとの間の接続に関しても、大部分は標準化されている。市場に出回っている CD-ROM プレーヤーの大半は、SCSI (Small Computer Systems Interface)を使用してコンピュータに接続するようになっている。シリアルポートや専用の接続ポートを使用するプレーヤーや、AT アタッチメント方式のハードディスクに使用されているのと同じよ

うな AT インターフェイスを使用するプレーヤー も、わずかながらある。

シリアルポートに接続した CD-ROM ドライブは、9,600 bps のコネクションしかなく、600M バイトのデータを 150Kb/sec の速度で転送するといったレベルの話の場合には問題外である。専

用のインターフェイスを使用するプレーヤーはも う少し速いが、古典的な問題がつきまとう。つま り、販売元が非常に限られているということであ る(故障の修理やスペア部品の問題があることは いうまでもない)。

22.2 WORM

CD-ROM の記録機構を、工場からパーソナルコンピュータに移動させるたものと考えれば、WORM ドライブの基本的な概念が理解できるだろう。WORM は "Write-Once、Read Multiple times(または Read Many times)"の頭文字をとったものであり、この言葉はシステムの特徴を正確に表している。レーザー光線が光ディスク内部のメディアと反応して、ディスク上に恒久的なダークスポットが形成される。明るい部分と、レーザー光線が形成したこのダークスポットとのパターンが、格納されたデータに対応することになる。

CD-ROM と WORM は情報の記録方法が (ダークスポットを使用するという点で)似ている ため、この2つの技術には類似点が多い。WORM でも、CD-ROM と同様に、ディスクを物理的に変化させて表面の反射率を変えることによって、データを記録している。ただし、WORM ドライブは、CD-ROM のマスターディスク作成装置とは異なり、ピットを刻むことはできない。WORM のメディアは購入時点ですでにプラスチックで安全に覆ってあるため、CD-ROM のようにピットを刻むことは不可能である。WORM では、ピットを刻むことは不可能である。WORM では、ピットを刻むのではなく、化学変化を利用してダークスポットを形成している。ディスク内部の反射メディアをダークスポットの部分だけ蒸発させるのである。

プラスチックで覆った形で販売されていることから、CD-ROM とのもう1つの違いが生まれてくる。WORM ディスクの複製は、CD-ROM のように簡単ではないという点である。WORM ディス

クの表面は、内部でどんな化学変化が起ころうと常になめらかである。そのため、書き込みは WORM ディスクごとに別々に行わざるをえない。矛盾するいい方だが、各ディスクはオリジナルであり、オリジナルのコピーでもある。ディスクを複製する場合は、一方から読み取ったデータをもう一方に書き込む(光学装置の遅い速度で数百メガバイトのデータを転送する)ことになる。たとえ、ミリオンセラー間違いなしの記録済み WORM ディスクがあったとしても、これでは複製装置のボタンを押したくはならないはずである。

このような問題点があるため、WORM 技術は、 ごく限られた非常に特殊な用途にしか向かない。3 つだけ例をあげるとすれば、データ保管システム、 公文書のバックアップ保管システム、そしてデー タ検索システムである。データ保管システムは、 測定結果など、データの永久保存が必要な場合に 使用される。WORM ディスクにはメガバイト単 位の情報を記録することができる上、記録後は変 更が不可能になるため、データを記録時のままで 残しておくことができる。バックアップシステム として見た場合、WORM ドライブはまずまずの 速度と大容量を持ち、カートリッジの交換が可能 であり、繰り返しになるが、データは永久に不変 である。データ検索システムの場合は、メガバイ ト単位で参照されることがあるため、WORM の 大記憶容量が生きてくる。CD-ROM ではメガバ イト単位の読み取りのみ可能だが、WORM では 加えてメガバイト単位での書き込みが行えるから である。そして、何度も繰り返すようだが、デー

タは永久に不変である。

暖炉に放り込んでも壊れないほどの強度はWORMディスクにはない。しかし、コンピュータ用のほかの記憶装置と比較すると、WORMは故障が少ない。電話のベルやオーロラの磁界のような一般的な現象は、どんな種類の磁気記憶装置にも影響があるが、現代のWORM光ディスクは、アセトンに浸さない限り安全である。また、(どんなに磁力が強かろうと)磁石によってデータが変更されることもない。最近の汚染された大気でさえ、WORMディスクに塗布されたプラスチックを通り抜けることは不可能である。

磁気メディアの公称耐用年数が3年であるのに対して、WORMの光学カートリッジは10年である。地殻変動でも起こらない限り、WORMカートリッジのデータは、ホストコンピュータの予想寿命よりも長く生き残るはずである。

標準規格

WORM は限られた特殊な用途のための技術であるため、製品の選択の幅は狭い。とはいえ、バラエティに欠けるというわけではない。特に、標準化されれば、選択の幅は広がることになるだろう。

WORMドライブの製造メーカーは1ダースを超えるが、市場は2社に支配されている。Literal (以前の Information Storage 社)と Panasonic である。入手可能な WORM 製品の大部分は、3種類の規格のいずれかに準拠している。このうちの2つは標準化団体が制定したものだが、残りの1つはメーカー独自の規格である。

国際標準化機構 (ISO) と米国規格協会 (ANSI) は、それぞれ、WORM 記憶システムの概要を規定した仕様を作成している。両者の定めたシステムに物理的な互換性はなく、一方の仕様に従ったドライブのカートリッジは、他方の仕様に合わせたドライブでは動作しない。仕様の差は、セクタサイズやカートリッジの色といった、容易に解決できる些細なものではない。両者の規格には、カートリッジのサイズや記憶容量、カートリッジ上のデータの記憶フォーマットなど、明白な違いがある。大部分の WORM カートリッジでは直径約 5.25 イン

チのディスクが使用されているが、ディスクを収めてある保護シェルは厚さや構成部品が様々であり、別のメーカーの製品を代わりに使用することはできない。1社のドライブ用に作られたカートリッジは、ほかの標準規格に従って設計されたドライブには装着することさえできない。

また、カートリッジのデジタルデータにも違いがある。ISO の標準規格では、カートリッジの総容量は約650M バイトである。Pioneer、Laser Magnetic Storage、Hitachi などのメーカーが、ISO 仕様のドライブを製造している。ANSI の標準規格では、記憶容量は ISO の約2倍の1.2G バイトになっている。ISO のカートリッジは ANSI のものよりもわずかに厚い。ANSI の標準規格に準拠しているドライブとしては、Literal のものがある。

Literal は、両方の仕様が混在する製品も製造している。シェルの厚みは ISO の規格と同じだが、中の 5.25 インチのディスクには、ANSI 規格のディスクと同じ 1.2G バイトのデータを格納することができるというものである。

Panasonic は独自路線を歩んでおり、専用のカートリッジに 940M バイトのデータを格納できるようにしている。意外かもしれないが、Panasonicの独自規格は、メガバイトあたりのコストが最も低い WORM システムを誕生させることになった。

WORMドライブには、パーソナルコンピュータで最も普及している 5.25 インチのもののほかに、特殊な用途向けのもっと大型のシステムもある。その中で最も広く使用されているのは、広大なデジタルライブラリと情報検索システムを実現する 12 インチのディスクである。1 枚の 12 インチディスクには、6G バイト (片面あたり 3.2G バイト)のデータを格納することができる。この桁違いの容量は、ジュークボックスシステムであるWORM カートリッジチェンジャによって、さらに増やすことができる。このチェンジャを使用すると、別のディスクのデータが必要なときに、自動的にカートリッジの選択と装着を行うことができる。12 インチ WORM システムのトップメーカーは Sony である。

メディア

一般的に、パーソナルコンピュータ用の WORM 規格で使用されている様々なカートリッジには、金属被覆の薄いフィルムを透明なポリカーボネート樹脂の円盤で包んだメディアが入っている。実際のディスクは、耐衝撃性のプラスチックシェルに入れて保護してあり、ドライブの光学読み書きへッドがアクセスできるように、スライドする金属のドアが付いている。

WORM ディスクでは、ローレベルフォーマット済みの光ディスクも販売されている。初期のWORMドライブの一部には、カートリッジの初期化の際に、情報の読み書きのためにレーザー光線が走査する溝が必要なものがあった。この方式のフォーマットはほとんどなくなり、現在は平らなディスクが使用されている。現在の平らなディスクでは、サーボ情報は、製造時にレーザー光線によってディスク上(ディスク全体)に形成される。

WORM ディスクにも、フロッピーディスクと 同様に、片面のものと両面のものがある。ただし、 磁気メディアとは異なり、WORM カートリッジで は、裏面にアクセスする場合、従来の塩化ビニール 製のレコードのように、裏返さなければならない。

ドライブ

CD-ROM プレーヤーには読み取りという一方向のデータの流れしかないため、記録回路は不要だが、WORMドライブには記録回路が必要なため、必然的に価格が高くなる。記録を正常に行うためには、高出力のレーザーが必要である。さらに、WORM 技術の市場は小さいため、大量生産によるコスト効果の恩恵にあずかることができない。そのため、WORMドライブの価格はしばしばCD-ROM プレーヤーの 10 倍にもなっている。

WORMドライブは書き換え可能型光学記憶技術がの簡易版ではない。この2つの技術はまったく異質なものである。どちらのシステムもレーザー光線を利用してはいるが、動作原理はまったく別ものである。書き換え可能型のディスクは、光学的に安定した2つの状態を持つ特殊なメディアを使用している。このメディアでは、レーザーと磁

界を合体させた作用によって、2つの反射率の状態(場合によっては数%の差しかないが)を切り換えることができる。その意味で、書き換え可能型ディスクは磁気光学システムである。これに対して、WORMドライブでは、薄い金属製フィルムを溶かして穴をあけるためにレーザーを使用する(実際には、レーザー光線はメディア上にきわめて小さな穴をあけるだけであり、穴は表面張力によって最終的な大きさにまで広がる)。

WORMドライブ自体は、旧式のハードディスクに使用されていた 5.25 インチの形状を採用している (もちろん、12 インチなどこれ以外のサイズのカートリッジもあるが)。現在販売されているWORM ディスクでは、ほぼ例外なくフルハイトのドライブベイが必要であり、ハーフハイトの機種は Ricoh のものしかない。また、一時期はほぼ全製品が独自のインターフェイスを採用していたが、最近の市場では SCSI 接続が支配的で、どのWORMドライブを購入しても、SCSI インターフェイスを備えているはずである。

書き換え可能型光ディスクの開発が進むにつれて、WORM 技術は業界の孤児になり、引退のときが近づいたと見なす意見が多くなった。生き延びるのもあと数年で、この技術の用途はもはやないというのである。孤児という点については、たしかに現実になろうとしている。しかし、次々に現れる新技術に追われて消え去ったほかの製品とは異なり、孤児や問題児が社会の裏側を遠慮がちに歩くように、コンピュータ産業の中で特に注目を浴びることなく、WORMドライブは今日まで生き残ってきた。孤児同様、WORMドライブは大きな可能性を持っており、せめてそれらに秘められた可能性を見直す機会が必要であろう。

近い親戚も親兄弟も子供もないという点でも、WORM 技術は孤児である。WORM 技術とほかの光学技術の間には、人類をクラゲや極楽鳥と比べたときほどの共通点しかない。しかし、大容量で永久に変更が不可能な記憶メディアを望む場合は、現在も将来にわたっても、WORM は唯一の選択肢であると思われる。

22.3 書き換え可能型光ディスク

フロッピーディスクドライブやハードディスクドライブの持つ柔軟性が必要なユーザーにとっては、CD-ROMやWORMは正しい選択とは思えないであろう。1日、1時間、場合によってはミリ秒単位で、何度となくデータは行き交い、変更され、転送される。たとえ情報は変更の必要がなくても、恐らく人間の気持が変りやすいせいだろう。パーソナルコンピュータの魅力は、作業結果のデータが石に刻まれるわけではなく変更可能であるという点にある。

書き換え可能型光ディスク技術は、ハードディ スク上のデータが持つ利点と、光学記憶装置の高 密度や永続性という利点を合わせ持っている。書 き換え可能型光ディスクドライブという名称は、 このドライブが達成した機能を正確に表わしてい る。データは、光学的な読み取りが可能な形でディ スク上に書き込まれる。書き込まれたデータは、 その必要があるかどうかは別として、永久にその ままにしておくことができる。また、後になって 変更や書き換えを行うこともできる。このドライ ブの持つ可能性は非常に広く、様々なメーカーが、 書き換えを可能にする技術を少なくとも3種類(色 素ポリマー、相変化(アモルファス)、光磁気)開 発済みか、あるいは開発中である。いずれの技術 でも、光メディアでしか実現できない高記録密度 と、データに変更がある場合に記録内容を更新す る能力を持っている。ただし、この3つの技術は どれも弱点を抱えている。

色素ポリマー型記憶装置

CD-ROM や WORM の考え方に最も近いのが、色素ポリマーである。この記録方式では、レーザー光線の熱によって物理的な特性を変更できる特殊な素材を使用する。色素ポリマーシステムでは、薄く染色した内部ポリマーシートを、半透明の保護カバーではさんである。この色素ポリマーメディアは、レーザー光線の熱に反応して膨張し、レーザーが当たった部分に小さな突起ができる。

突起によってディスクの反射率が変わるため、コンパクトディスクプレーヤーと同じ光学システムによって、この反射率の変化を検出する。もう一度書き込みができるようにディスクのデータを消去する場合は、別のレーザー光線を当てて突起を柔らかくすることによって、反射率を元に戻す。

このシステムが優れているのは、再生に関して一般的な CD-ROM ディスクとの互換性がある点である。実は、色素ポリマーディスクは、実際に CD-ROM プレーヤーでの再生が可能なように製造することができる。その場合は (一度に 1 枚ずつではあるが) 家庭で使用できる機械で CD を制作できることになる。

欠点は、色素ポリマーが物理的な反応である点だ。つまり、物理的な反応は、限られた回数しか行えない。航空機の機体表面が金属疲労を起こすのと同じで、色素ポリマー層も、少しずつ突起の形成と復元の繰り返しに耐えられなっていく。色素ポリマー素材の耐用年数は長足の進歩を遂げ、突起加工ができる回数は数回から数百へ、数百から数万へと伸びてきた。しかし、ハードディスクの代わりに使用するためには、数万回でも十分とはいえない。ハードディスクでは、同じ領域を1日に何千回も書き直すことがあるからである。

色素ポリマー技術の最大の成功例(そして、最も歓迎された製品)は、Tandy 社が開発した Tandy High-performance Optical Recording (THOR)システムである。発表されたのは数年前 だが、THOR は現在も開発中であり、市場には登 場していない。

相変化(アモルファス)型記憶装置

相変化型の書き換え可能型光ディスクシステムでは、記録メディアは、結晶状態と非結晶状態の間で変化して、デジタルコードの1と0を記憶する。つまり、記録可能な素材は、規則正しく並んだ格子状の結晶と、圧縮された粉末のように構成分子が不規則に並んだ形(アモルファス状態)とに、

部分的に変化させることができる。この場合、メディアの化学的な組成は変化しないが、反射率が変化する。結果として、デジタル情報をコード化して記録するのに適した明暗部分が形成されることになる。

前述の状態の変化は、WORMドライブの一部が使用しているメディアの変形の代わりになる。そのため、販売されているWORMドライブの中には、実際にこの技術を使用して、2つの用途を兼ねた装置(1台のドライブで書き換え可能型ディスクとWORMカートリッジの両方を利用できる装置)として機能させているものがある。この装置では、ほとんどの場合、ただセットするだけでどちらの種類のディスクでも使用することができる。ほとんどの場合というのは、WORMカートリッジの標準規格と書き換え可能型ディスクの標準規格の差が問題になる場合があるからである。

相変化の技術は、色素ポリマーと同じ欠点を抱えている。記録メディアの耐用年数が短いのである。結晶状態から非結晶状態への物理的な変化によって素材が疲弊してしまい、変化しなくなってしまうのだ。

色素ポリマー技術と相変化技術は、ともに疲弊 しやすいという欠点を抱えているが、どちらがコ ンピュータ用の記憶装置として成功を収めるかは、 用途と耐用年数をどこまで伸ばせるかにかかって いる。一般的に、相変化型メディアの相変化可能回 数は1万回を超えるところにまで達している。コ ンピュータ用の記憶装置としては、数千回の変更 が可能なら十分であるように思えるかもしれない が、残念ながら数百万回でも従来のパーソナルコ ンピュータ用大容量記憶装置としては不十分であ る。ディスク上では、ユーザーによって頻繁に消 去や書き換えが行われるだけではなく、ユーザー がファイルの作成や追加を行うたびに、DOSによ るファイルアロケーションテーブル(FAT)の変更 が行われるからである。その結果、1日に行われ る書き換えは数千回に及ぶことがある。相変化型 の光メディアを一般的な磁気メディアのように使 用すると、すぐに故障してしまい、まず、ディス クで最も重要な記憶領域である FAT にエラーが 発生することになる。

とはいえ、相変化型メディアや色素ポリマーメ ディアが役に立たないわけではない。通常の DOS 操作には適当でないというだけである。優れた技 術によって、FAT 部分のメディアの変質を最小限 にとどめることは可能である。たとえば、FAT部 分のメディアが疲弊する前に、FATを別の領域に 移すことが考えられる。また、相変化型ディスク は、従来の磁気ハードディスクをバッファにすれば 効果的である。通常のデータ変更はハードディス ク上で行い、適当な時期に変更内容を光ディスク ドライブのデータに反映させるのである。相変化 型ディスクは、限られた回数の書き込みしか行わ ない特殊な用途にも適している。家庭用オーディ オ向けの書き込み可能型デジタル記憶システムは その例で、Tandy 社の THOR はこの用途に向け られたものである。一般のユーザーは、ディスク の特定領域への書き込み回数は少ない(数千回程 度だろう)ので、メディアが過度に使用されるこ とはないだろう。

光磁気型記憶装置

3番目に紹介する光磁気技術は、書き換え可能型 光ディスク方式ドライブの主流となっている技術で ある。そのため、現在、ほとんどの書き換え可能型 光ディスクドライブは、「MO (magneto-optical) ドライブ」と呼ばれる。

「光磁気」という名称は、この技術を利用する製品の基本的な仕組みを表している。ディスク内の記録メディアは、基本的には、磁界を利用して情報を記憶する磁性体である(ただし、ハードディスクやフロッピーディスクのものとは異なる)。光学技術は、磁気機構の補助としてのみ使用され、書き込み場所を指定する際の精度を上げる役目を果たしている。磁気機構が書き込みを行うディスク上の特定の場所に細いレーザー光線を当てて、メディアのその部分を記録可能な状態にするのである。一方読み取りの場合は、MOドライブは光学的な機構しか使用しない。レーザー光線自身が、ディスクから磁気的に記録されたデータを読み取る。

この光学技術と磁気技術との融合は、必要性から生まれたものである。ほかの書き換え可能型光 ディスク技術からもわかるとおり、一番の問題は、 メディアを書き換え可能にすることではなく、書き込み操作を何度行ってもメディアを書き換え可能な状態のままに保つことである。記録面を何度も物理的に変形させていると、素材は疲弊する。これがメディアの寿命である。ディスクを二度と書き込みができない状態に変形させる WORM システムがよい例である。光磁気型記憶装置では、記録処理の際、磁性体が物理的に変形するわけではない。変化するのは磁性体粒子の磁界だけである。

磁気極性の変更については詳しく研究されてお り、極性の完全な逆転が可能であると考えられて いる。従来の磁気メディア(ハードディスクやフ ロッピーディスク)ではこれを利用している。MO ドライブもこの解明済みの原理に基づいているた め、一般的に、書き換え可能な回数に制限はない と考えてよい。疲弊、疲労、故障、データ損失など の心配もない。しかし、磁気技術と光学技術の併 用はさほどうまくはいかない。レーザーは、個々 の磁性粒子から磁界を消去するときに、WORM ディスクのレーザー照射機構と同様、磁性体を熱 するために使用されているだけで、レーザー自体 には素材の磁気極性を変更する能力はない。磁気 的に書き込み、光学的に読み取るという方法では、 今後、光学記憶装置が独自の地位を占める可能性 はない。磁気ヘッドを書き込みに使用する限り、 従来のハードディスク以上の密度で情報を詰め込 むことはできないからだ。したがって、わざわざ レーザー光線の細い針を使ってデータを読み取る 必要性はなく、光学技術のを使用する理由はまっ たくないのである。

MOドライブの技術は、小さな領域にレーザー 光線を当てて、従来から利用されてきた磁界によっ てその領域を記録可能な形に変化させるというア イデアに基づいている。また、ディスク上の粒子 の磁化の方向を、レーザーによって読み取ること ができるという発想も使用されている。

■書き込み操作

MOシステムの書き込み処理では、磁界とレーザー光線の併用による効果を利用している。バイアスフィールドという従来から利用されてきた磁界を使って、データをディスク上に書き込む。そ

のため、磁界の持つ性質は、ハードディスクの場合と同じ要因によって制限されている。つまり、 書き込みを行える磁気領域のサイズは、読み書き ヘッドとメディアとの距離で決まる。また、その サイズは、実際の距離とは関係なく、レーザー光 線の焦点のサイズよりもはるかに大きい。

MOドライブでは、磁気領域のサイズを極小に するために、磁気による書き込みの補助手段とし てレーザー光線を使用している。レーザーは大き な磁気領域のごく一部だけに照射され、その部分 だけが磁界の影響を受ける。

磁気による書き込みの補助にレーザー光線を利用する方法がうまくいくのは、MOディスクに最適な磁性体を選択しているからである。MOディスクに使用する磁性体は、従来のハードディスクのものとは異なり、保磁力が強い(保磁力とは、磁化の方向を変化させようとする力に対する抵抗力のことである)。一般的なハードディスクの磁性体は600エルステッド程度であるが、MOドライブではそれよりもはるかに高いものを使用している。

この高い保磁力は、従来のハードディスクに対する MO ディスクの最大の利点の1つである。 MO ディスクでは、磁界が自然消滅しにくいのである。 一般に、磁気メディアは、磁界が自然消滅する性質を持っている。つまり、時間が経過するつれて、外部や内部の磁界から受けるさまざまな影響によって、磁界の強度が低下する。放っておけば、磁界はどんどん弱くなってしまう。保磁力が強ければ、磁性体の磁界の自然消滅がそれだけ遅くなる。したがって、保磁力の高い磁性体を使用した MO ディスクでは、ハードディスクよりも長期間にわたって、データに対する高い信頼性を維持することができる。

MO ディスクの公称耐用年数は 10~15 年である。MO ディスクが誕生してからはまだ 10 年に過ぎないため、これを証明するのは困難だが、業界の関係者の間では、上記の公称値は控えめな数字だと考えられている。従来のハードディスクでは、記録内容の整合性を保つために、リフレッシュを毎年行う必要がある。大型コンピュータ用のデータテープの場合は、1 年置きに行うのが一般的である。MO ディスクのメディアでは、リフレッシュ

が必要な場合でも、実行する間隔をかなり延ばす ことができそうである。

MOディスクでは、磁性体の保磁力が強いため、 周囲の磁界から受ける影響に対する抵抗力も高い。 冷蔵庫のドアにメモを貼るような磁石は、フロッ ピーディスク上のデータを破壊してしまうほど強 力だが、MOディスクにはほとんど影響がない(だ からといって、冷蔵庫用の磁石を使って、システ ムユニットに MOディスクを貼り付けるようなこ とをしてはならない)。また、周囲の磁界に対する 抵抗力が高いため、MOカートリッジの保管場所 や保管方法に気を配る必要もない。

MOメディアの高い保磁力は、このような利点 以外に、別の課題をもたらすことになった。記録 領域のサイズを大きくしなくてもメディアの磁化 の方向を変更できるほどの、強い磁束を実現しな ければならないのだ。MOドライブ内のバイアス 磁石に対するレーザーの補助の仕方でこの高い保 磁力のレベルを下げることができる。

ほかの磁性体と同様、MOで使用している磁性体の保磁力も温度が上がるにつれて減少し、キュリー温度と呼ばれるメディア固有の温度に達すると、保磁力はゼロになる。MOディスクのメディアの温度をキュリー温度近くまで上げてやれば、磁気極性の変更に必要な磁界強度を、実現可能なレベルにまで下げることができる。MOディスクに使用されている磁気メディアは、キュリー温度が低くなるように(150℃前後)特殊な技術によって開発されたものである。

MOディスクの読み取りに使用しているレーザーは、容易に出力を上げて、記録メディアをキュリー温度まで熱することができる。また、細く絞り込んで、焦点のサイズを極小にすることも可能である。磁界はメディア上の広い領域を覆っているが、必要なレベルに保磁力が下がっているのはレーザーで熱せられた小さな焦点だけなので、実際に磁化の方向が変化するのはその部分になる。

この考え方に基づいて設計された実際の機構は、 本質的な欠点を内包している。ディスクに対して セクタ単位やトラック単位の大量の書き込み処理 を行っている間、バイアスフィールドが一方向を 向いたままになっていなければならないのである。 バイアスフィールドを形成している電磁気には高いインダクタンスがあって、磁気極性が急激に逆転するのを妨げているため、極性は急には変化しない。MOディスクのバイアスフィールドには、ハードディスクのものよりもはるかに大きく強力なものが要求される。光磁気を利用するヘッドは、ディスクとの距離をかなりとる必要があるからである(ヘッドは、トラック上を移動するわけではなく、トラック上に固定されている)。

このように、バイアスフィールドの極性は急には変化しないため、現在のMOドライブでは、内部のバイアス磁石によって、トラックが読み書きへッドの下を通過するときに、ディスクのトラックの特定領域の磁界の方向を一方向にだけそろえることができるようになっている。たとえば、バイアスフィールドが上向きの極性を持っている場合には、ディスク上の下向きの極性を持った磁界を上向きに変更することはできるが、上向きの極性を持った磁界は下向きには変更できない。

このため、現在、実際に販売されている MOシ ステムでは、2段階の書き込み処理が必要である。 ディスク上のある領域に書き込みを行う場合は、 まず、その領域のすべての磁界を一方向にそろえ る。つまり、書き込みを行う領域だけ、データを すべて消去してしまうのである。一般的な MOド ライブの設計では、この消去処理を行うために、 一時的にバイアス磁石の極性を逆転させた上で、 このバイアス磁石の下を、消去する領域が一度通 過するようにしなければなければならない。消去 のために事前に書き込み用の領域を通過させた後、 磁気ヘッドの磁気極性をもう一度逆転させて、書 き込みの方向にする。実際にディスクに情報が書 き込まれるのは、この後、領域が2度目にヘッド の下を通過するときである。なお、磁気極性が逆 転するのは、レーザー光線の照射によって熱せら れた領域だけである。

この2段階の処理の欠点は、データの書き込みときに MO ドライブのアクセス時間が目に見えて増加することである。原因は、2度目の通過までの余分な待ち時間である。MO ドライブのデータ転送速度は製品によって様々だが、ディスクの回転速度は毎分2,400回転という遅いものが多い。こ

れは、おおまかにいって、ハードディスクより3分の1ほど遅い(一般的なハードディスクは毎分約3,600回転である)。したがって、MOシステムのディスクが1回転するためには25ミリ秒を要することになる。ヘッドの移動がないことを考えても、MOドライブの平均アクセス時間は、37.5ミリ秒以下にはならない(平均的に、データの消去には読み書きヘッドから半回転分の12.5ミリ秒が必要であり、データ書き込みのための2回転目にはさらに25ミリ秒を要する)。MOドライブの回転速度が遅いことはメーカーも認識しており、"1回通過書き込み方式"のものや、ディスク回転速度を上げたものを開発中である。最近の製品には、ハードディスクと同様の3,600 RPMの高速な回転速度を持つMOドライブもある。

MOドライブには、速度に関する欠点がもう1 つある。ハードディスクの読み書きヘッドが、一 般的に、1グラムの数分の1という超軽量の機構 であるのに対して、MOドライブのヘッドは、磁 気機構と光学機構の部品を組み合わせた重量級の メカニズムなのである。通常、このヘッドは、レー ル代わりの2本の平行な鋼鉄パイプ(ガイドロッ ド)に沿って移動する箱に収められている。この重 いヘッドを移動するためには、強固な機構が必要 であり、慣性の法則のために、ハードディスクに 比べて、加速、減速、停止にかなりの時間がかか る。そのため、平均アクセス時間は、ハードディス クとは比較にならない。今や、ハードディスクの データ書き込み時間は、ランダムなバイト間で15 ミリ秒である。一方、MOディスクの場合は、最 速の製品でも30ミリ秒以上である。これは、書き 込みに2回転が必要な点を考慮しない数値である。

しかしながら、MOドライブで使用されている 光学ヘッドは、以上の欠点を補うだけの長所がないわけではない。ハードディスクのヘッドは、できる限りのデータを詰め込むために、ディスク表面の数マイクロインチ上に浮いている必要がある。これに対して、MOドライブの光学ヘッドは、離れた場所にあってもかまわない。ガイドロッドによって、ヘッドとディスクは常に同じ距離を維持することができる(同時に、安全が保たれることになる)。この距離は、ハードディスクのヘッドの 場合と比べると、はるかに大きなものである。したがって、ヘッドがディスクに接近することはないため、クラッシュはありえない。実際にディスクの表面に接触するのは、レーザー光線だけである(指が当たることがあるため、MOカートリッジの保護シェルのドアの内部には触れないように注意する必要がある)。

MOディスクでは、光学的に使用可能な面は、傷が付かないように、透明な固いプラスチックの層で覆われている。レーザー光線は、この透明なカバーを透過する。焦点が、ディスクの表面ではなく、透明な表層の下で収束するようになっている。このため、最上層の透明カバーに傷やほこりなどの異物が付いていても、データの読み書き精度にはほとんど影響がない。MOドライブにも、当然、記録されたデータストリームにエラーが現れるのを最小限にとどめるために、エラー訂正回路が組み込まれている。

■読み取り操作

普通、電子装置が発生する一般的な電界強度では、レーザー光線は磁界との反応を起こさない。たとえば、通常のケーブルが影響を受けるような一般的なレベルの電磁気ノイズは、光ファイバーケーブルにはあまり影響がない。したがって、MOディスクの小さな磁界を読み取れるレーザーを獲得することは大きな挑戦である。

MO技術で採用された方法は極性の利用である。ほかの光ディスク技術と同様に、MOディスクでも、ディスクの表面から反射してくるレーザー光線を使用して読み取りを行う。ただし、MOディスクでは、レーザー光線が極性を持っている。すなわち、レーザー光線の光子の方向が、一方向にそろっているのである。極性を持った光線がディスク上に磁気的に並んだ粒子に当たると、粒子の磁界によって、光線の極性面がわずかに回転する。この現象をカー効果という。回転の程度は、初期のMOメディアでは1%であり、最近の報告でも7%に過ぎないが、この極性の変化は、ハードディスクのデータを直接、磁気ヘッドで読み取る場合と同程度の正確さで検出することができる。極性を与えられた光線が極性を持った別の素材を通過

したときの減衰率は、光線の極性がどの程度素材 の極性と一致しているかによって決まる。結果的 に、極性の変化は、反射光線の強度の変化として 容易に検出することができる。

■標準規格

MOドライブでもまた、データの交換は標準化に依存している。データを交換するためには、ある機種で書き込んだカートリッジを、別の機種で読み取ることができなければならない。初期の様々な製品以来、ISOが5.25インチと3.5インチのMOカートリッジに関する一連の仕様を制定するまでには、長い期間が必要であった。ISOの標準規格では、ISO規格に準拠したドライブであればどこの製品を使用しても、ISO規格のカートリッジを読み取ることができなければならないと定められている。当たり前の声明文のように思えるかもしれないが、これは複雑な問題を抱えている。

5.25 インチの MO ディスクの場合、ISO の標準 規格は実は二重標準になっている。この規格では、 1.024 バイトセクタのデータを記録するものと、512 バイトセクタのものという2種類のカートリッジ の存在を許しているのである。セクタを大きくす れば、オーバーヘッドが減少するので(セクタ認 識マーカーが少なくてすむという利点もある)、 1,024 バイト単位のセクタを持つカートリッジに は、512 バイト単位のセクタを持つカートリッジ よりも多くのデータを収めることができる。1,024 バイトセクタのカートリッジのデータ記憶容量は、 約650M バイト(片面あたり約325M バイト)であ る。これに対して、512 バイトセクタの場合は約 594M バイト (片面あたり約 297M バイト) である (594M バイトという数字は、概算値の 600 が使 用されることが多い)。実際の記憶容量は製品に よって様々で、ハードディスクと同様に、光磁気型 のカートリッジにも、データの格納に使用できな い不良セクタが存在する場合があるため、必然的 にこの数字よりも少なくなる。小型の3.5インチ カートリッジでは512 バイト単位のセクタが採用 されており、128M バイトのデータを記録するこ とができる。トラックあたりのセクタ数は128で あり、カートリッジあたりのトラック数は10,000 である。

ISO の標準規格のもとでは、5.25 インチのドラ イブは、512 バイトセクタと 1,024 バイトセクタの 両方のカートリッジを読み書きできなければならな い。標準規格の制定以前に開発されたドライブ(ま たは、標準規格の存在に気付かなかったメーカー が開発したドライブ)では、使用可能なセクタサイ ズが限られている場合がある。また、MOドライ ブのメーカーの中には、ISOの標準規格に準拠せ ず、独自の記憶フォーマットを採用しているもの がある。たとえば、Maxtor が開発した Tahitiド ライブでは、ISO の仕様を拡張して特殊なフォー マットとデータ格納法を採用し、カートリッジあ たり1Gバイトの記憶容量を実現している。定線 速度記録方式によって、外周の長いトラックにデー タセクタを増やしたのである。ISO は、対照的に、 定角速度(ディスクの回転速度が一定)記録方式を 推奨している。この方式では、ディスク上の全ト ラックのセクタ数が等しくなる(つまり、トラック あたりの記録可能なデータ量が同じになる)。

ISOの規格で最も重要なのは、MOカートリッジとその内部のメディアを厳密に規定している点である。これには、カートリッジの物理的な互換性を確保するという目的だけではなく、メディアの供給元を増やして入手を容易にするとともに、製造単価を下げるねらいもある。

しかし、パーソナルコンピュータのあまりにも数 多い"標準規格"と同様に、ISO の標準規格は、MO ドライブで書き込んだカートリッジの別の MOド ライブでの読み取りを保証する万能薬ではない。 ISO 規格では、ディスクにデータを記録する際の物 理フォーマットは規定しているが、論理フォーマッ トについては規定されていない。そのため、様々 なシステムインテグレータが、それぞれ独自の方 式でディスクのパーティションを行っており、ある メーカーの MO システムが使用しているドライバ ソフトウェアは、ほかのメーカーのパーティション を認識できないという状態にある。なお、バージョ ン 5.0 の登場によって、DOS に対するメーカーの 見方は変化したように思えるが、DOSのパーティ ション方式を採用している MO ドライブのシステ ムインテグレータはほとんどない。

速度

平均アクセス時間とディスクの回転速度(これに よってデータ転送速度が決まる)の問題を別にすれ ば、MOシステムの全体的な速度は、MOカート リッジのフォーマットによって決まる。MOカー トリッジの記憶容量を上げる方法(および、ディス クのフォーマット方法とセクタあたりのバイト数) は、ドライブのデータ処理速度に影響する。32M バイトという DOS の標準的なボリュームに合わ せてカートリッジにパーティションを行うと、独 自のパーティション方式(ディスク片面の記憶容量 全体を単一のボリュームとする)を使用するドラ イブの半分の実効処理速度しか実現できない。こ のような速度差が生じるのは、ボリュームが大き な MO カートリッジでは DOS の記憶クラスタも 大きくなり、クラスタが大きくなれば、データの 転送量が増えた場合に問題となるオーバーヘッド が減少するからである。

また、ISO の標準規格によって、MO ドライブ とホストコンピュータとの接続には SCSI を使用 するように定められているため、MOドライブの 速度は、一般的なハードディスクよりも製品によ る差が激しい。SCSI インターフェイスの採用は、 柔軟性という点では優れた選択だが(たとえば、1 台のホストアダプタには7台までの SCSI 機器を 接続することができる)、DOS ユーザーにとって は足かせになりかねない。ISO仕様の光磁気型ド ライブでは、DOSベースのコンピュータ用のほか の SCSI 機器と同様、使用する SCSI ホストアダ プタの速度がボトルネックになることがある。高 性能の SCSI ホストアダプタを使用すれば、回転 するディスクから取り出したデータを、現在の最 高速のハードディスク並みの速度で転送すること ができる。性能の低い SCSI アダプタでは、大容 量データの処理速度が本来の最高速度の10%程度 に制限され、システム全体の速度が著しく低下し

■ メディア

名称は 5.25 インチとなっていても、5.25 インチのカートリッジに入っている光ディスクは、通常、実際の直径が 130mm(5.12 インチ)しかない。カー

トリッジ自体のサイズは高さ 0.43×幅 5.31×奥行き 6.02 インチであり、3.5 インチのフロッピーディスクと同様に、スライド可能な金属シャッターによってディスク自体が保護されている。いわゆる 3.5 インチの光磁気ディスクには、実際には直径 90mm のディスクが入っている。カートリッジのシェルは、サイズも外観も、MO ディスクの方が厚い点を除いて、3.5 インチのフロッピーディスクに近い。

MOディスクの磁気メディアは重層構造になっている。まず、プラスチックの基盤に誘電体を塗布して絶縁する。その上に、実際の光磁気型の複合素材(鉄とコバルトに、希土類元素であるテルビウムを混ぜた合金)を重ね、別の誘電体を塗布して保護する。最上部にはアルミニウム層を形成し、データ検索用の反射面とする。次に、この層構造の表面を厚さ 0.30mm の透明なプラスチックで覆う。ディスクは片面ずつ製造し、最後に裏面どうしを貼り合わせて、両面を持つメディアに仕上げる。

従来のハードディスクが、同心円状の多数のトラックまたはシリンダにデータを格納するのに対して、ISO 規格の MO ドライブでは、レコードの音溝のような、連続した1本のらせん状のトラックを使用する。らせん状のトラックは、ドライブのデータ転送には最適である。データの転送量が増えても、トラック間を読み書きヘッドが移動する必要がなく、ディスク上をスムーズに走査することができる。

一般的に、光メディア、特に MO ディスク製品に関してよく指摘される長所は、記憶容量が大きい点である。しかし、MO ディスクシステムの記憶容量は、磁気ドライブで実現されている容量と比較して、はるかに大きいといえるほどではない。たとえば、3.5 インチの光磁気ドライブの記憶容量は、現在の最新鋭の3.5 インチ磁気ハードディスクよりも小さい。5.25 インチの光磁気ドライブでさえ、記憶密度は MO の方が優れているにもかかわらず、磁気ドライブの容量を上回ることができない。

ただし、ハードディスクと MO ディスクの容量 を単純に比較すると、誤解することになる。両者 の公称記憶容量はほぼ互角であり、この2つの技術は戦う土壌が異なっているからである。5.25インチのディスクを使用するドライブの場合は、どちらの技術でも最高1Gバイト前後という同じような公称記憶容量を実現している。しかし、ハードディスクの方が、8枚の内部ディスク(15面に記録可能)で構成してこの容量を達成しているのに対して、MOドライブでは、データ記録密度が高いため、着脱式カートリッジに収めた1枚のディスクで同じ数字を実現している。

MOカートリッジの公称記憶容量は、実際に記録が可能なデータ量を表しているわけではない。5.25 インチの MOドライブの公称記憶容量は600~1,000M バイトの範囲にあるが、実際に一度に利用できるのは、メーカーの公称数値の半分である。現在のカートリッジ内のディスクは、データを両面にわたって記録するようになっているが、MOドライブには読み書きへッドが1つしかない。したがって、一度に読み書きできるのはカートリッジの片面だけである。裏面にアクセスするためには、カートリッジを実際に取り出して裏返し、もう一度装着する必要がある。結局、カートリッジの総容量の半分しか一度には使用できない。

また、MOドライブでは、通常、カートリッジ単位で記憶容量を計算するが、ドライブ単位では記憶容量は無限である。スペースがなくなった場合は、新しいディスクを装着するか、ドライブ内のディスクを裏返してやればよい。費用が許す限り、新しいディスクを手に入れることができる(現在、カートリッジの価格は1枚あたり約250ドルである)。もちろん、無制限とはいっても、一度にアクセスできるのは約300Mバイトに限られる。

MOドライブのメーカーのほとんどは、ジュークボックスシステム(オートチェンジャと呼ぶ場合もある)も販売している。この装置を使用すると、数枚のディスクを自動的に交換することによって、50~100Gバイトの驚くべき記憶能力を実現することができる。オートチェンジャによって正しいカートリッジが装着されて速度が出るまで、ユーザーはほとんど待たずにすむため、この装置はニアライン記憶装置とも呼ばれている。ただし、ジュークボックスシステムは個人ユーザーが気軽

に予算を組めるほど安いものではなく、情報サー バ向けの製品である。

用途

MOカートリッジのらせん状のトラックについて、設計者たちは、必ずしもデータへのランダムアクセスに最善の方法ではないが、連続した大量のデータの転送には適していると考えている。したがって、現在のMOドライブシステムは、あらゆる用途に関して、大容量記憶装置としてハードディスクに完全にとってかわろうとしているわけではない。現時点での役割は、ハードディスクとストリーマテープの間にある未開拓の領域を埋める、補助的な記憶装置であると思われる。

要するに、MOドライブはあらゆる用途に適しているとはいえないが、数百メガバイトのデータを格納するための安全で確実な手段が必要な場合には、賢明な選択となるだけの長所を備えているということである。非常に大きなファイルを簡単にやりとりできるだけの記憶容量があることから、用途の候補としては、グラフィックスやオーディオ/ビジュアルのシステムがある。たとえば、エンジニアなら、巨大な CAD ファイルを MO カートリッジに収めて、保管しておくことができる。

MOドライブは優れたバックアップ手段にもなる。特に、ネットワークでの使用には最適である。 1枚のカートリッジで、最大容量のハードディスクを除くすべてのハードディスクをバックアップすることができる。さらに、カートリッジのデータが書き換え可能である点に注目すれば、バックアップメディアを定期的に再使用することが多い場合にも、MOドライブは適当である。テープメディアと比較すると、MOディスクからのファイルの復元は速くて安全である。ただし、MOカートリッジは、同容量のオープンリールテープやカートリッジテープよりも少なくとも2倍は高価である。

MOディスクは、データの保管庫としても優れている。カートリッジは小さいため、ブリーフケースに何枚も入れて持ち運ぶことができる上、金庫に保管するのも容易である。強い保磁力のおかげで、磁界の自然消滅も実質的にないに等しく、外部磁界に対する抵抗力が高いため、記録されたデー

タの耐用年数も長い。

システムによっては、MOドライブが主要な大容量記憶装置としての地位をハードディスクにとって代わりそうである。適切なキャッシュソフトウェアがあれば、MOディスクドライブの見かけ上の速度を従来ハードディスクに近いレベルまで上げることができるからだ。ただし、キャッシュミスの場合は、アクセス速度は目に見えて遅くなる。

ただし、現在はまだ、ハードディスクの役割は終

わったというのは尚早である。書き換え可能な光磁気ディスクがハードディスクに取って代わるまでには、もう少し時間がかかると思われる。新技術が通常そうであるように、MOもやがて、自分の長所を生かした新しい役割を持って大きな成功を収めることだろう。現時点でも、MOの技術は有用であり十分通用する。パーソナルコンピュータの用途を変えるだけの可能性を持っているのである。

22.4 フロプティカル記憶装置

光磁気型ドライブが2つの技術の組み合わせから生まれたように、フロプティカルディスケットドライブも2つの技術を併用している。MOドライブは、ハードディスクから市場シェアを奪い取ろうとしているが、フロプティカルディスケットは、フロッピーディスクを対象としている。

フロプティカルディスケットの一番の魅力は記憶容量である。現在、従来のフロッピーディスクに格納できる最大のデータ量は約2.88Mバイトであるのに対し、最新のフロプティカルドライブでは、同じサイズのパッケージに、21Mバイトのフォーマット済みデータを格納することができる(未フォーマット時には25Mバイトである)。

フロプティカルディスケットは、3.5 インチのフロッピーとサイズが同じであるというだけではなく、実際に、従来のフロッピーディスクでもフロプティカルディスクドライブで使用できる。このドライブには、1.44M バイトと 720K バイトのフロッピーディスクとの下位互換性があるのだ (2.88M バイトのものは使用不可)。新しいドライブなら、従来の磁気フロッピーディスクに対して、読み取りと書き込みの両方が可能だろう。

この互換性は、フロプティカル技術が磁気による記録方法であることに由来している。ディスク上のデータが、光のビーム、すなわちレーザー光線を浴びることはない。特殊な高密度の記録メディアとヘッドを使用することで、フロッピーディス

クを上回る記録密度を達成しているのである。

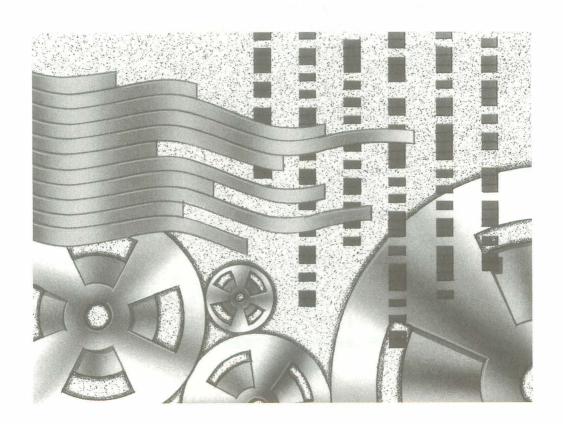
フロッピーディスクが抱える最大の問題点は、 大容量磁気記憶装置の主役であるハードディスクが直面しているものとはまったく異なる。ハードディスクでは、メディアからその上を浮遊する読み書きヘッドまでの距離によって、データの密度が決まる。フロッピーディスクでは、ヘッドがメディアと接触しているため、(そのほかの条件がまったく同じ場合は)理論的には、ハードディスクの記憶密度を上回ることが可能である。

フロッピーディスクの問題点は、その名の示す性質にある。変形しやすくサイズが一定しないため、不可能ではないにしても、ひしめき合った細いトラックを正確に追跡することは困難である。温度が変化すればディスクに膨張や収縮が発生し、シェル内での回転時にはゆがみが生じる。

フロプティカルドライブでは、光学的なサーボトラックを使用してこの問題を解決している。ディスクへの書き込みや読み取りの際には、特殊な光学的サーボ機構が、読み書き用磁気へッドを適切な位置に保つ。光学的なサーボ情報は、製造時にディスク上に形成されるため、記録プロセスによって変更されることはない。事実、サーボ情報は通常の手段では消去不可能である。フロプティカルディスクを消磁器の下を通すことはできるが、そのサーボ情報は消去されない。

第23章

テープ



テープの役目はデータのバックアップで、万一事故があった場合でも貴重なデータが消滅してしまわないようにする保険である。フロッピーディスクが何 M バイトも記録できる時代に入り、交換メディアとして規格化されたいくつかのテープシステムも利用できようになった。テープシステムには、容量、速度、使いやすさが異なるいくつものフォーマットが存在するが、最も良いテープシステムは、使用中のトラブルが最も少ないものである。

我々は非常に貴重なデータを、それらを守るという目的で、難しい機械の詰まった密封されたブラックボックスに預けている。しかし、当の機械は極めて精巧にできていると同時に、たいへんに壊れやすく、電気ショック、衝撃、さらには老朽化といった様々な害によって、容易に損傷を受けてしまう。一歩間違えば、我々の貴重なデータは破壊されてしまうのだ。

このような信頼性の不完全なものはビジネスでは使用できないし、厳格なパーソナルコンピュータの世界ではまったく役に立たない。しかしこれは、ハードディスクにファイルを保存する際に常につきまとう障害なのである。我々はいつか再びデータが読み出せることを期待して、密封された複雑なブラックボックスの中にデータをしまっている。それが可能なことは技術によって約束されているが、万一読み出せなかったときのために、バックアップシステムとして使用するテープシステムというものが我々に与えられているのだ。

テープシステムを使用すれば、貴重なデータのコピーをテープという移動可能なメディアに素早く取って、別の安全な場所に保管することができる。こうすれば、事故が起こってしまった場合でも(不可避的に起こってしまうものであるが)、バックアップがテープに取ってあるため、破壊されたオリジナルデータの替わりにすぐ使用できる。この考え方は単純だが完全とはいい難い。テープシステムには様々な種類があって選択肢は多様だが、そのいずれもが共通に欠点を持っているのだ。

まず、費用がかかるのはもちろんのことだが、実際にかかるのはお金だけではない。テープにバックアップを取るにはそれだけの手間もかかる。バックアップを取る行為は、コンピュータにとっては奇跡の薬や不思議な薬というよりも、ひまし油のようなものに近いだろう。ひまし油は、味は悪く、理論上はほとんど価値は認められない。誰もどういう効き目があるかは知らないが、昔から効き目があるといわれてきたために、我慢して飲んでいるのである。しかし、いくらひまし油に砂糖を混ぜても、やはりひまし油(そしてその必要性)はなくなればいいと思っているであろう。テープシステムもこれと同じようなものである。まったく必要はないという確信がもてないままに、いやいやながらひまし油を飲み込むように、万一の安全性を提供するテープシステムを利用しているのである。

23.1 背景

テープは初めての大容量磁気記憶システムであり、その歴史は第二次世界大戦の終わりに遡る。最初、テープは声や音楽を録音するために使用されていたが、まもなくコンピュータの世界でも使われるようになった。メインフレームで最初に使用された原始的な記憶システムである穿孔カードや穿孔紙テープに代わる、便利な代替品として使用されたのが最初である。その後は、情報の移動がテープの重要な用途となった。1巻またはそれ以上のテープを使って、簡単にシステム間でのデータベースの移動が可能となった。そして、主要な記憶装置の座を磁気ディスクに奪われてからは、テープシステムは磁気ディスクのバックアップに使用されるようになった。

パーソナルコンピュータはメインフレームの環境で発展したテープの恩恵を受けてきた。パーソナルコンピュータでは、テープは主要な記憶装置と考えられたことはない(例外は最初のPCで、設計者達はこのマシンにカセットポートを付けたが、何百万ものユーザーはこれを無視した)。テープは現在置かれているのと同じバックアップメディアとしての役割を持って、パーソナルコンピュータの世界で使用され始めた。ソフトウェアのベンダーの中には、この大容量で安価なテープカートリッジという記憶装置を、ファイル交換のメディアとして注目したところもあったが、標準化しようという試みは実を結ばなかった。実際、数年間にわたって標準化の試みは続けられたが、一度として真剣に検討されたことはなかった。

テープは物質的な存在としては、簡単であると 同時に難解でもある。設計としては簡単で、1本 の長く薄いリボンという連続したメディアを使用 するため、情報を記憶されたままの順序に保つこ とができる。これに対し、難解な点はその構造に 使用される材料である。

テープは大きく分けて、バッキング(基材)とコーティングという2つの層でできている。バッキングは、早送りや巻き戻しをしたときでも切れない

ように、テープに強度を与えている。バッキング の品質の向上はプラスチック産業の発展によるも のだ。最初に作られたテープのバッキングは紙で あった。その後、50年代の初頭に市販用テープレ コーダの生産が始まったすぐ後には、セルロース アセテート (これと同じプラスチックが30年前に 写真のセーフティフィルムに使用されていた)が 採用された。最高水準のプラスチックは、二重編 みのレジャースーツで知られるポリエステルであ る。テープでは、このポリエステルが時代を越え て使われている。ポリエステルは、柔軟性と、ほ とんど伸びることがなく長期間の使用に耐える強 度を持っているからである。テープには、高速な 往復走行や急な方向変換といった、今日の過酷な メカニズムによる様々な力にも耐え得る品質が必 要なのである。

コーティング技術もあらゆる磁気メディアと同様に、何十年にも渡り発展を続けてきた。大部分のテープは磁気酸化物でコートされているが、バインダー(結合剤)に純粋な金属分子を分散させたコーティングや、金属を蒸着したフィルムも使用されてきた。テープのコーティングはほかの磁気メディアと同じ原理が基本になっているので、形は異なっても構造は同じである。

バックアップシステムでは、テープの構造だけでなく、そのパッケージも重要である。テープのパッケージがどのような形かによって、テープを読み書きするのに必要なメカニズムが決まるからだ。

これまでパッケージについては、より便利な形を目指して改良が行われてきた。もともとテープは、テープが巻き付いているリール(スプール)と、巻き取る側のリールが別々になっていため、古い16mmフィルム映写機のように、苦心してテープを通さなければならなかった。これに対し、ある賢い技術者が、補給と巻き取りの2つのリールを1つのカートリッジに納めることを考案したことにより、テープを通すという手間は要らなくなった。カートリッジが標準化されてからは、テープ

の開発技術者たちはそのカートリッジにどれだけ 多くのデータを詰め込むかということに重点を置 くようになった。

このような努力の結果として、現在パーソナルコンピュータに接続できるテープシステムには、多くの規格が生まれている。主要なテープシステムは4種類ある(そのほかにも主流から外れた少数

の規格がある)。これらはパーソナルコンピュータにもときどき使用されるが、もともとはほかの目的のために設計されたものである。この4種類とは、オープンリールテープ、カセットテープ、1/4インチカートリッジ、ヘリカルスキャンテープである。

23.2 オープンリールテープ

初期のコンピュータのテープメディアは、別々に なったテープリールを使用している。これがオープ ンリールテープと呼ばれるのは、ほかのコンピュー タ用テープとは異なり、リールがパッケージに入っ ていないからである。1950年代から1960年代初 頭に見られた独裁者タイプのコンピュータでは、 その時代のコンピュータの大きな力を象徴するか のように、前後に動くこの大きなオープンリール が使われていた。この時代では、大きなオープン リールテープがコンピュータの基本的な記憶シス テムだった。コンピュータが記憶データを検索す る作業は、テープの前後の動きによって行われる。 この場合、テープの平均アクセス時間は秒単位で、 特に、適切なテープを使っていない場合などは、 アクセス時間が果てしなく長くなってしまうのは 想像に難くない。

オープンリールテープでは、多種多様なフォーマットの中から、1つの規格が急速に発展を遂げた。1/2インチテープと呼ばれるこのテープは、テープ全体が9本の平行なトラックに分けられている。8本の各トラックには1バイトのデータが1ビットずつ記録され、残りの1本のトラックには、パリティチェックの情報が記録される。データは1バイトずつパラレルに、つまりトラックを横断する形で記録される。このような物理的性質から、オープンリールテープは1/2インチテープまたは9トラックテープと呼ばれることも多い。

リールは、中心の穴の大きさが3インチで、そ こにテープが巻かれることにより全体の直径はど こまでも大きくなる。最も一般的な大きさは、直径が7インチまたは10.5インチである。テープの長さはリールの大きさやテープ自体の厚さにより異なり、10インチのリールの場合は、2,500~3,600フィートのテープが巻かれている。

オープンリールテープの技術が進歩するにつれて、記録される各バイト間の距離は徐々に縮められ、テープ 1 インチあたりに記録できる情報量は増加していった。オープンリールテープはもともと、FM 信号を使用して、テープ 1 インチにつき 800 バイトの情報を記録できた。これが MFM に発展したことで、情報量は 2 倍の 1,600bpi に増えた。この数字が現在最も一般的なオープンリールテープの情報密度である。珍しいものでは、3,200bpi または 6,250bpi の密度を持つものもある。

オープンリールテープでは、ブロック間ギャップと呼ばれるテープの無記録部分で区切られた、個別の各ブロックにデータが記録されていく。このブロック間ギャップの長さは、何分の1インチという長さから数インチという長さまで様々なものがあり、システム全体の性能(ホストコンピュータがどれだけ速く情報をテープとの間で送受信できるかなど)によって決まる。また、テープ長、データ密度、ブロック間ギャップという要素により、1本のテープの容量が決まる。一般的な1,600bpiの密度で、適度なブロック間ギャップの場合、10インチのリール1本でおよそ40Mバイトの容量になる。

以前は、40Mバイトといえばとても大きな容量

と考えられたが、今日のパーソナルコンピュータ の標準から見ればそれほど大きいとはいえない。 現在では、使用される情報すべてを詰め込めば、 とてつもなく大きなリールとなってしまう。これ がオープンリールテープの1番大きな欠点である。 テープリールが大きくなると、扱いにくく、ドラ イブも同様に大きくしなければならない。直径10 インチ以上のリールの場合、5.25 インチのドライ ブでそのリールを回転させたり止めたりするのは 不可能に近い。10インチリールはそれ自体大きく、 またそれを速い速度で回すには大きな力が必要に なる。つまり、大きく力のあるモータが要るとい うことで、これは、パーソナルコンピュータがコ ンパクトでなければならないという考え方とは相 反する。実際、ほとんどのオープンリールテープ 装置と比べると、一般的なパーソナルコンピュー タはとても小さく見える。オープンリールテープ 装置の中には、「小さい冷蔵庫」といったほうがよ いほど大きいものもある。

また、オープンリールテープのドライブは基本的に大量生産はされず、精密な機械であるため値段が高くなる傾向がある。最も安いオープンリールテープシステムでも3,000ドル以上で、高性能なパーソナルコンピュータよりも高い。パーソナルコンピュータ用のほかの周辺機器とは異なり、オープンリールテープの価格は何年も変動が見られなかった。9トラックテープとその価格を変えるような、大きな技術革新は今のところない。

長所をあげるとすれば、システムとデータの保全という点において、メディアの寿命が長いということと、システムが大きいということがあげられる。記録密度が低いため、1本のオープンリールテープの中にはきわめて多くの酸化物の粒子が含まれており、劣化に対する耐久性がある。大きく

重いドライブは工業での使用を想定して設計して あるため、概して頑丈で、パーソナルコンピュー 夕に接続した場合には、ほぼ半永久的に使用でき るはずだ。

バックアップシステムとしてだけ見れば、オープンリールテープはあまり安い買い物とはいえない。ほかのテープシステム(特にカートリッジ式のもの)のほうが安く、設計上の理由から、同等かそれ以上の信頼性を持っている。大部分の人にとっては、カートリッジ式のテープのほうが扱いやすい。

しかしながら、オープンリールテープはデータ 交換用のメディアとしては優れている。どのよう なオープンリール装置を使用しても、1600 bpi で 記録されたテープなら大抵読むことができる。ブ ロックの長さやブロック間ギャップは異なっていて も、このような違いは比較的容易に補償すること ができる。オープンリールテープがメインフレー ムと小型コンピュータの間で情報を移動させるた めのメディアとして残っているのはこのような理 由による。たとえば、ダイレクトメール用の名簿 はオープンリールテープで配布されることが多い。 オープンリール装置はこのような世界をパーソナ ルコンピュータに開放しており、実際ほとんどど のようなシステムとでも何 M バイトという情報 の交換が可能である。パーソナルコンピュータ用 のほとんどのオープンリールシステムは、テープ の交換のしやすさという点に重点が置かれている が、バックアップを取ることについても考慮がな されている。ただし、バックアップ機能について は、オープンリールのシステムを購入する際の一 番の理由に考えるよりも、付加的なものと考えた ほうがよいだろう。

23.3 3480カートリッジ

メインフレームのオペレータは、後にこの環境に現われた後継の装置が受け入れられるまで、20年以上もオープンリールテープの不便さを我慢してきた。新しいテープシステムは、基本的にはカートリッジとオープンリールの性質が混ざり合ったものだが、バックアップ用記憶装置という役割においては、旧式のオープンリールテープに取って代わろうとしている。ただし、また新しいシステムであるため、交換用メディアとしての役割までは、まだ継承したとはいえない。

新しいシステムは、このメディアが最初に搭 載された IBM マシンのモデルナンバーを取って 「3480」と呼ばれており、保護カートリッジに入っ たオープンリールテープというようなシステム である。テープは、オープンリールテープと同じ 1/2インチで、オープンリールテープとほとん ど同じような方式でドライブの中を通る。ドライ ブの機構によって、カートリッジからテープが引 き出されてリールに巻かれ、リールの高速な回転 によってテープが前後に移動して、データを検索 したり書き込んだりする。それが終了するとテー プはカートリッジに戻るという仕組みである。実 際、カートリッジは奇妙な形をしており、その中 にはそれ自体では回転しないリールが納まってい る。ユーザーはテープをドライブの中へ簡単に入 れられるだけでなく、自動のメカニズムにより、 テープを正しい位置にセットしてロードすること ができる。このメカニズムは、1950年代に作られ た「Wurlitzers」という装置と動きが似ていること から、ジュークボックスと呼ばれることが多い。 Wurlitzers は25セントで3曲かけられ、中にず らりと並んだレコードの中からかけたい曲を選べ るという装置で、この不思議なメカニズムを見て 楽しめるよう大きな窓が付けられていた。

3480 システムはオープンリールと比べ、テープ が取り付けやすいという以外にも、大きな利点を 持っている。3480システムにアップグレードする ということは、トラックの数が倍になるというこ とでもあるのだ。そして、将来に渡ってさらに1、 2回のトラック数の倍増が IBM により約束されて いる。IBMから現在提供されている装置では、18 トラックが9トラックずつ2組みが並行になった 形で同時に書き込まれる。これによってシステム のデータ転送速度やスループットが2倍になって いる。また、記録密度はオープンリールテープより 高いため、容量が増えると同時にシステムのデー 夕転送速度も速くなる。このような設計により、 オープンリールテープの1/4以下の大きさしか ないカートリッジ (3480 カートリッジの大きさは 4.75×4.25×0.75 インチ) で、オープンリールテー プよりはるかに多くの、何百 M バイトというデー 夕を記録できるようになっている。

この新技術の欠点は価格が高いことである。現 在入手できる3480システムは、いずれもメインフ レーム市場向きに設計された非常に高価な(20,000 ドル以上)製品である。これに対し、いくつかの メーカーが、3480 用のカートリッジをパーソナル コンピュータのアプリケーションとして使用でき る(そして購入できる価格帯の)システムに作り変 える試みを行ったが、そのシステムではメインフ レームの技術を使用したメディアしか共有できず、 本来の IBM 3840 テープドライブとは異なるデー タフォーマットを使用していた。これらのシステ ムは次第にパーソナルコンピュータの世界から忘 れ去られて行ったが、これは恐らく、オープンリー ルテープの長所を持っていなかったせいであろう と思われる。つまり、これらはメインフレームと 情報を交換することができなかったのである。

23.4 カセットテープ

カセットテープは最初、会話を録音するメディ アとして登場し、ステレオ音楽の録音メディアと して何干ドルもすることがある機器の市場を生み 出したり、また、10~20ドルの安価なポータブル テープレコーダとして利用されるなど、2つの道を 同時に歩んだ。後者のローエンド機器は、情報を 磁気で記録する手段としては、それまでに誕生し たものの中では最も安価なものであった。カセッ トテープは、もともとは音声を録音するメディア としか考えられていなかったが、モデムのような 手段を用いることによって、音に変調されたデジ タル信号も記録できるようになった。カセットテー プは安価でアクセスがしやすいため、初期のコン ピュータマニアはデータを記録するのに好んでこ れを使用しており、安価な家庭用コンピュータで はほとんどの場合、このカセットテープがソフト ウェアの配布用メディアとして、市場で広く使用 された。

パーソナルコンピュータが初めて市場に現れたとき、潜水艦の丸窓のように厚い眼鏡をかけた工業評論家たちは、カセットテープは、少なくとも家庭用や趣味として使うコンピュータの市場では、今後も存続していく記憶媒体だと考えていた。IBMでさえ、カセット愛好家の存在に気付き、すべてのPCにカセットテープを接続するポートを取り付けた。

しかし、市場に対して近視眼的な見方がされてから1年も経たないうちに、パーソナルコンピュータのデータ記憶媒体に採用されたオーディオカセットテープの技術的な欠点、つまりスピードが遅く、連続したアクセスしかできないということが問題となり始めた。カセットテープシステムは、データを音に変調して記録するという方法をとっているため、1,200bpsのモデムと同じ程度のデータ転送速度でしか動作できない。また、データを検索する際にはかなりの時間がかかり、ユーザーは勘にたよって早送りボタンを押して検索したりしなければならなかった。このような現実的な問題か

ら、XT 以降の IBM マシンからは、カセットポートは姿を消すこととなった。パーソナルコンピュータにとって原始的な記憶装置であるこのカセットテープは、現在ではほとんど歴史的な興味の対象でしかない。

ところが、ここ数年のうちに、カセット装置はたいへん興味深いものとなってきた。Teacがデータ記憶に焦点を置いた新しい高速カセット装置を開発したのである。このカセット装置は、初期のシステムに使用されていたオーディオカセットの規格を使用しておらず、デジタル記録システムを使用して性能に重点を置いた、カートリッジベースの高価なバックアップシステムであった。このカセットはデジタルカセット、または略してD/CASと呼ばれている。このデータ専用カセットは、現在では二次記憶装置として将来性のあるものと考えられている。

オランダの Philips によって開発(および特許取 得) されたオーディオカセットは、扱いにくさと 装置にテープを通す際の難しさという最大の欠点 を持つオープンリールテープに代わる、多くの試 みの1つであったが、これは Philips が最初に考 えついたものではなく、以前に RCA 社が開発に 取り組んでいたものである。 RCA 社もこれとよ く似たカセットのパッケージを使用していたのだ が、こちらの方がパッケージが大きく、不名誉な ことに市場では敗退してしまった。Philipsによ りコンパクトカセットと命名されたこのカセット テープは、便利さと、比較的安価であることから 成功をおさめた。コンパクトカセットはハイファ イメディアとして設計されたものではなく、中程 度の品質を改良したものとして市場に入っていっ た。RCA 社のカートリッジは薄い本程度の厚さが あったのに対し、このコンパクトカセットはワイ シャツのポケットにすっぽりとおさまるほどの大 きさで、ポータブルタイプのレコーダーに入れて 持ち歩くことができ、とても便利なものであった。 小さなサイズと使い勝手の良さから、録音機器に

採用されるようになり、ハイファイ用のメディアとしても使われるようになった(コンパクトディスクが現れるまでは、音楽市場においてカセットテープが最も多く使用された)。

カセットテープの基本的なメカニズムは、プラスチックのパッケージの中にオープンリールテープのリールを2個入れただけのものである。テープは両端がそれぞれ左右のリールにつながっているので、装置にテープを通すという手間がかからず、パッケージでそのテープが保護されている。

左右のテープリールにテープが巻き付いたときにずれないように、パッケージの両側面がテープの両端を抑える働きをしている。その際、テープとパッケージの間の摩擦を減らすために、テフロン加工された潤滑用シートがパッケージ内側とテープの両端の間に入っている。透明なプラスチックの窓からは、両側のリールのテープの巻き取り状態を見ることができ、あとどれぐらい録音または再生できるか目安にすることができる。

カセット内部のリールは、それ自体は単にテープを巻き付ける軸である。その周りにある小さなクリップは、軸にテープの端を留めておくものである。パッケージ内部のあらゆる所にテープを送るガイドがあり、テープが通路を正しく通り抜けるのを助けている。

パッケージは端の部分が厚く作られており、録音/再生用のヘッドやドライブパックがパッケージ内に入り込めるように開けられている。

また、カセットには貴重な音楽や情報を誤って消してしまわないようにプロテクト機構がついている。カセットの後側(ヘッドが挿入される反対側)の両端に、パッケージの穴を覆う形でプラスチックの爪が2つ付いている。カセットレコーダ側にはちょうどこの穴と同じ場所にピンが出ており、このピンが穴に入ると、このカセットテープは書き込み禁止であるということがわかる。この爪を折っておけば誤消去を防ぐことができるわけだ。再び記録できるようにするには、この穴を何かでふさげばよい。セロハンテープ、マスキング

テープはもちろんのこと、バンドエイドやファイルホルダーに貼るラベルでも用は足せる。このような穴は2つあり、それぞれテープの表面と裏面を保護するようになっている。パッケージの左上についている爪がテープの表側の面を保護している(パッケージを裏返すと反対側の面が表になるが、その場合も左上の爪がその表の面を保護することになる)。

最近のオーディオカセットには、このほかにもくぼみがあり、カセットテープの種類を自動的に識別できるようになっている。オーディオカセットテープには4種類のタイプがあり、録音する際にそれぞれ異なった設定にする必要があるのだ。

Teacのデータ用カセットテープには、パッケージの背の部分に大きな切り込みがあり、この切り込みがないオーディオカセットテープは Teacのデジタル機構では使用できないようになっている。高速のカセットシステムでは、その磁気の性質と機械的な仕組みの条件に合わせて設計された特別なカセットテープが必要なのである。

Teac の最初のシステムは、1本のテープで2本のトラックを使用し、両方向の記録を行っていた。ただし、このシステムは双方向に走行可能なため、自動的に両面が使用される。つまり、テープを裏返す必要がないとと同時に、裏返しでは使用できないということである。識別用に付けられたくばみの位置が左右対称でないため、テープを裏返して使うことはまったくできなかった。

Teac が最初に発表した「D/CAS」システムでは、1 本のテープで 60M バイトのデータを記録できた。そしてこの容量はすぐに拡大され、160M バイトとなった。さらに Teac は、1991 年に新しい装置 (型番: $\lceil MT - 2ST/F50 \rfloor$) を発表し、容量は一気に 600M バイトへと跳ね上がった。この装置では、SCSI - 2 インターフェイスを使用することで、毎秒 242K バイト情報をテープに転送できる。Teac ではこの容量を 1993 年までに 2.5G バイトへ、さらに 1995 年までには 10G バイトにする予定である。

23.5 1/4インチカートリッジ

カセットテープが会話を録音するメディアとして初めて登場してから数年後、データ記録メディアとして1/4インチテープカートリッジが初めて3M社から発表された。1972年に最初の製品が市場に姿を現したが、そのころの1/4インチテープカートリッジは、連続したデータの記録を必要とする遠隔通信装置やデータ収集システムといったアプリケーションを想定して設計されていた。この1/4インチテープカートリッジがパーソナルコンピュータ用バックアップメディアとして最も重要なメディアになるとは、誰も想像だにしなかった。当時はまだパーソナルコンピュータ自体が存在していなかったのである。

1/4インチテープカートリッジのそもそものコンセプトは、カセットテープと同じだったと思われる。つまり、オープンリールシステムのリールを2本、扱いやすいプラスチックの箱に入れるということである。しかし、機能、操作、構造の点で、この2つはまったく異なっている。両者が異なるのは、音声を録音するということと、データを記録するということが、そもそもまったく異質なものであるからだ。カセットテープに比べて1/4インチテープカートリッジでは、より高い精密度と操作のしやすさが要求される。このことを念頭に置いた上で、新しい機構が3M社のRobert von Behrenによって設計され、1971年に特許が取得されたのである。

1/4インチテープカートリッジのメカニズム

1/4インチテープカートリッジでは、カセットテープのようなキャプスタンドライブシステムは使用せず、ベルトドライブシステムが採用されている。薄く弾力性のあるベルトが、左右のリールの外側に接触し、ドライブホイールの回りを通って、カートリッジ機構を循環している。ドライブ

ホイールはドライブ側のキャプスタンと接触している。

このキャプスタンがベルトを動かすのであるが、システムが駆動されていないときはテープから離れている。ベルトはテープリールの外側に接触することによってテープを回転させる。この方式は、テープが2つのローラーの間で強く引っ張られながら回転するのと違って、回転させる張力がテープの広い範囲に分散されるため、よりテープに優しいものといえる。また、テープの走行やリールへの巻き取りも、よりスムーズになっている。また、テープの表面にあるもろい磁気面は、読み書き用ヘッド以外には接触しないような機構が考えられている(図 23-1 参照)。

1/4インチテープカートリッジは耐久性を考慮して、アルミニウムの基礎板をベースにして作られている。カートリッジのそのほかの部分は透明なプラスチック製で、テープの状態や機構の動きが見やすいようになっている。

この設計の基本は、カートリッジ自体がテープドライブとして機能するという点である。カートリッジの中には、テープガイド、テープ、そしてテープを動かす機構が入っている。このため、データカートリッジ側にコストはいくらか高価にはなるが、ドライブは基本的にモータとヘッドだけですむため、逆に安くなる。またこの設計により、テープの位置合わせがかなり正確になり、ドライブ側ではほとんど調整の必要がなくなる。

初期のシステム

3M 社の「DC300A」と呼ばれる初期のカートリッジでは、ちょうどペーパーバックの本と同じ大きさのパッケージ $(6\times4\times5/8$ インチ)に 300 フィートのテープが入っていた。このカートリッジは、毎秒 30 インチの速さでテープが走行するように設計されていた。

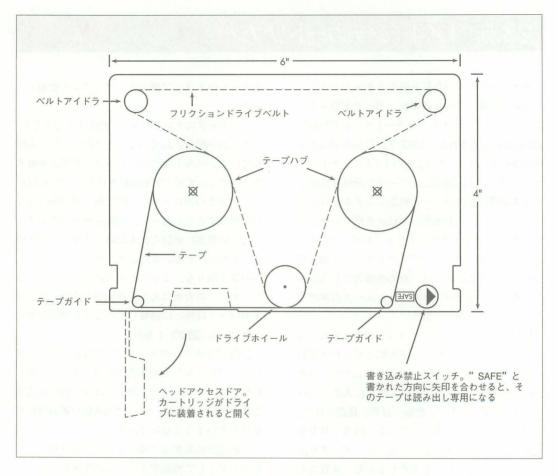


図 23-1 1/4 インチカートリッジの仕組み (図は DC-600 カートリッジのもので、DC2000 も同様だがこれより小型)

位相符号化 (PE) 方式 (単密度記録) により、1,600bpi の密度でテープ上に連続して (1回1トラック) 記録できたため、データ転送速度は毎秒48K ビットとなる。一度に使用されるのは 2トラックもしくは 4トラックである。この仕様のドライブは、3M、Kennedy、Qantax、DEI、IBM などのメーカーで製造されていた。

1979 年、DEI 社は、毎秒 30 インチの速度と 1,600bpi の密度のままで、4 本の並行なトラック に記録させることで速度と容量を 4 倍にしたドライブを発表した。この新しいメカニズムでは、標準的な DC300A カートリッジテープを使用して、毎秒 192K ビットのデータ転送速度を達成している。このカートリッジはこの記録方式を使用して

も、フォーマット前の状態で1.8M バイトの容量 しかないが (フォーマット後は8インチのフロッ ピーディスクと同じ1M バイト)、データ転送速 度はコンピュータ産業の興味を引き付けるに十分 なものであった。

その1年後、別の新しい DC300A カートリッジを使用する4トラックドライブが発表された。このシステムの容量は、MFM 方式の記録を行うことによって15M バイトにまで拡大し、データ密度は6,400bpi となっている。毎秒192K ビットの転送速度と、毎秒30インチの速度は同様に変わりなかったが、データは一度に1トラックずつシリアル形式で転送された。この革新的なドライブは1988年まで生産が続けられていたが、現在の

巨大なパーソナルコンピュータ市場ではもう採用 されていない。パーソナルコンピュータ用のアプ リケーションとしては、より大きな容量を持つシ ステムがこれにとって代わっている。

それ以後、テープの長さは再び増加の道を歩み、「DC600」と呼ばれたカートリッジでは 600 フィートのテープを収納していた。現在のテープ技術も、3M 社が最初作ったカートリッジと同じサイズのものを使用しているが、マルチトラックヘッドや高密度記録メディア、エラー訂正機能などの技術おかげで、容量は何 G バイトという値にまで増大している。1 つのカートリッジで 100G バイトの容量まで可能だと予想されている。

この DC600 型カートリッジという名前は今では過去のものとなっている。ほかのメディアとの違いや、記憶容量に影響するテープの長さの違いを考慮して、新しい名前が付けられている。フルサイズの1/4インチテープカートリッジは現在、「DC6000」型カートリッジと呼ばれている。カートリッジの型番の最後の3桁(3桁でない場合もある)の数字は、大抵テープの容量を示している。

QIC

1/4インチカートリッジを用いた初期の製品で 共通しているのはメディアだけだった。ドライブ のメーカーはそれぞれ別の方向性を持っており、 各社でトラック数やデータ密度が異なるだけでな く、コンピュータ本体との接続方法まで違ってい た。このため、莫大なデータをカートリッジに詰め 込んでいるユーザーは不安にならざるをえなかっ た。独占的な仕様ということは、テープにどんな 大切なデータが記録されていようと、ユーザーは ドライブメーカーの気まぐれに対して常にリスク を負っているということだ。ドライブの製造が中 止された場合には、ドライブか壊れてしまったら、 二度とテープの読み出しは不可能になる。さらに 各社で仕様が異なっているため、各メーカーは技 術を継承することなく、一から製品の開発を始め なくてはならなかった。

このようなテープカートリッジ市場の混沌とした状態を改善するため、1982 年、ヒューストンで National Computer Conference が開催され、

DEI、Archive、Cipher Data、Tandberg の各社が一同に会した。各社は統一規格のもとに製品を製造できるように、標準規格を制定する委員会を作ることを決定した。この組織は"Working Group for Quarter—Inch Cartridge Drive Compatibil ity"と名付けられ、しばしば略して「QIC 委員会」と呼ばれた。1987年11月、QIC 委員会は正式に、Quarter—Inch Cartridge Standards Inc. という法人組織となった。

QIC 委員会は当初、パーソナルコンピュータ市場で直接的な販売を行わないドライブメーカーによって構成されており、寸法などに関する標準化を行っていた。データフォーマットの規格については、システムインテグレーターに開発が委ねられており、一般には各社とも異なった設計を行っていた。時が経つにつれ、QIC 委員会は同業者組合となり、フォーマットの規格の必要性も認識されるようになった。今日では、テープを使用するあらゆるレベルのアプリケーションに対して規格を制定している。

QIC 委員会が開発し、製品として市場に出回った最初の標準規格は「QIC-O2」と呼ばれるもので、DC300 テープドライブの 9 トラックバージョンであった。このドライブは 1983 年に初めて出荷された。また、「QIC-24」規格は、9 トラックの DC6000 型カートリッジで、60M バイトの容量があり、さらに「QIC-120」では 125M バイト、「QIC-150」では 18 トラックで 250M バイトの容量となった。その後の標準規格では、ドライブの容量が名称の一部に入るようになった。

1990 年、525M バイトの容量を持つ QIC 互換のドライブである「QIC -525」が初めて市場に登場した。1991 年になると、「QIC -1000」で容量が1G バイトまで引き上げられ、「QIC -1350」では、1.35G バイトにまでなった。そして、2.1G バイトの容量を持つ「QIC -2100」は、1992 年に出荷が開始された。

容量の増加にともない、データ密度や読み書きのスピードも増加した。今日流通している最大容量のQICシステムであるQIC-1000、QIC-1350、QIC-2100は、酸化鉄をテープに使用し、1/4インチ幅のテープに30本ものトラックが走ってい

る。トラックの数を増やすことなく容量を増やすため、QIC-1000では1インチにつき36Kビット、QIC-1350では1インチにつき51Kビット、QIC-2100では1インチにつき68Kビットのデータ密度で記録されている。さらに高密度のQIC-2100では、ほかの規格のテープが760エルステッドであったのに対し、950エルステッドのテープが使用された。

DC-6000型の大きさのカートリッジが使用される計画中の規格では、容量を増やすため、最初にトラックの数を増やし、後からデータ密度を高くするという方法が採られる。検討中の10Gバイトテープを使用する規格では、テープに144本の

トラックを走らせ、同様に 35G バイトの規格では 216 本のトラックを設けることになる。

ここまでトラック数が増えてくると、トラックを作って1本ずつ区別するのは、単純とはいえ、もはや容易な作業ではなくなってきた。このため、大きな容量のテープを作ろうとする場合には、狭いトラックを数多く作るために、サーボ技術を応用することになる。この技術は、ディスクシステムの中により多くのトラックを詰め込むのと同様の原理に基づいている。これと同様に、最先端の高密度テープシステムでは、磁気メディアからより多くの容量を引き出すデータ符号化方式として、アドバンスド RLL を使用している。

23.6 ミニカートリッジ

1/4インチテープカートリッジの規格に欠点があるとすれば、それは大きさということになる。標準の5.25インチドライブのスロットにこの6×4インチのカートリッジを無理に組み込むのは一種の冒険である。3.5インチドライブのスロットの場合は不可能だ。よりコンパクトなメディアを求めた結果、1/4インチテープカートリッジの製造メーカーは、ドライブのメカニズムは継承しながら、カートリッジのサイズを小さくし、容量も減少させることにした。こうして生まれたのがミニカートリッジである。QIC委員会はミニカートリッジに従来より小型のサイズを採用し、現在その規格が施行されている。

最初のミニカートリッジが DC-2000 という 名前で 3M 社から発売されたことから、ミニカートリッジを DC-2000 型カートリッジということも多い。 DC-6000 型カートリッジと同様に、大部分のミニカートリッジは型番の一部にその容量が示されている。「DC-2080 カートリッジ」は容量が 80M バイトであるということを示しており、同様に「DC-2120」の場合は容量は 120M バイトである。

ミニカートリッジのパッケージは 3.25×2.5×0.625

インチで、最初に開発された時点では、それまで大きなカートリッジに使われていた 1/4インチ巾のテープが 205 フィート入っていた。ドライブは標準の 3.5 インチドライブベイの中へ簡単に納まる。容量はフルサイズの 1/4インチカートリッジよりは小さいが、これは単にテープの量が少ないためで、これでも通常のハードディスクに匹敵するほどの大きさである。QIC 委員会では、ミニカートリッジの容量を 30G バイトにまで引き上げてゆく構想を抱いている。

ミニカートリッジのドライブを作っているメーカーの数は、驚くほど少ない。1992年の時点では8社前後だった。Alloy、Ardat (Archive の系列会社)、Braemar、Colorado Memory System、Irwin Magnetic (これも Archive の系列会社)、Mountain、3M、Wangtek である。市場ではほかのメーカーの名前も見受けられるが、それらの会社のほとんどはこの8社の子会社である。Maynard社がArchive社の小売り販売会社であったり、Irwin社が現在ではMaynard社の系列に入っていることなどが例としてあげられる。また、Summitは Mountain社から分かれて出た製造グループである。

QIC-40

ミニカートリッジで最初に重要な規格になったのは「QIC-40」である。これはもともと、DOSやOS/2用のシステム向けの、低コストのバックアップメディアを意図したものである。ユーザーの出費を抑えるために、ドライブは従来のフロッピーディスクコントローラを使用しているパーソナルコンピュータに接続して使用された。ミニカートリッジの初期のドライブは、パーソナルコンピュータのFDD用ケーブルの空コネクタに差し込んで使用されたため、ミニカートリッジを使用したシステムでは、FDDは1台しか使用できなかった。しかし、最近のフロッピードライブはパーソナルコンピュータ本体に様々な方法で接続されており、2台のドライブが使用できるようになっている。

QIC-40 規格では、テープ上には 20 本のトラッ クが並んでおり、1本のトラックにつき約2Mバ イトのデータを記録できる。各トラックは、1つが 29 のセクタから成る 68 のセグメントに分割され いる。そして各セクタには、それぞれ1,024バイ トのデータが記録される。また、この規格の記録 方式は MFM で、これは普通のフロッピーディス クコントローラの出力に合わせたものである。標 準のデータ転送速度およびテープ速度では、情報 は 10,000 bpi の密度で記録されるが、テープ速度 は使用するフロッピーディスクコントローラの種 類によって異なっていた。通常密度のコントロー ラ(360K バイトのフロッピーしか使用できないタ イプ)では、毎秒 250K ビットのデータ転送速度な ので、この場合のテープ速度は毎秒25インチとな る。高密度のコントローラの場合、データ転送速 度は毎秒 500K ビットなので、テープ速度は毎秒 50インチになる。

また QIC-40 では、データフォーマットについても規定されている。セクタはディスクスペースの割り付けとほぼ同じ方法でファイルに割り付けられる。各テープにはファイルアロケーションテーブルと同様の役割をするものがあり、テープ上の不良セクタをリストアップして、品質の悪いメディアを使った場合でも、データエラーが起きないようになっている。テープ上のデータは QIC-40 フォーマットに基づき、特別な構成で記録されている(図

23-2 参照)。

QIC-40 フォーマットによる DC-2000 型テープの 60M バイトの容量の 1/3 は、フォーマットの構成やエラー訂正のために使用されている。エラー訂正の方法には 2 種類あり、1 つは CRC 方式で、もう 1 つはリードソロモンコード (RS) 方式(効率のよいエラー訂正のアルゴリズムで、ほかにも、惑星間の通信用に実際に使用されている) である。これらの訂正方法を使うことにより、理論上のエラー発生率はごく低くなる (10 の 14 乗回に 1回の割合のエラー発生率)。計算してみれば、20万本のテープのうちの 1 本に 1 ビットのエラーしか存在しないという意味であることが分かる。さらに、この発生率は、典型的なディスクドライブのエラー発生率よりも低いという結論が得られる。

QIC-40の主な欠点は時間がかかるということである。実際、QIC-40を使うことは忍耐力の訓練になることも多かった。これは、フロッピーディスクのインターフェイスを利用しているため、データ転送速度がフロッピーディスクのスピードに制限されてしまうためである。初期のQIC-40のドライブでも、バックアップを始めるにあたって、読み書き用へッドにテープの先端を探し出すよう指示を与えるのに30秒もかかっていた。ヘッドはテープ上のきわめて狭いトラックの上で正しい位置を見つけなければならないのだ。最近のドライブではここまで長くは待たなくてもよいようになっている。

しかし、QIC-40のテープもフロッピーディスクと同様に、使用する前にフォーマットをしなければならない。このテープはフロッピーディスクよりずっと大きな容量を持っているため、フォーマットに必要な時間もそれに比例して長い(各トラックを1回ずつフルスピードでヘッドが走らなければならない)。40M バイトのテープなら約1時間もかかっていた。フォーマットの時間を短縮するため、QIC-40システムのメーカーの多くは、テープを部分的にフォーマットして少ない容量で使用できるようにした。これより良い解決法として最近のほとんどのメーカーが採用しているのは、フォーマット済カートリッジである。

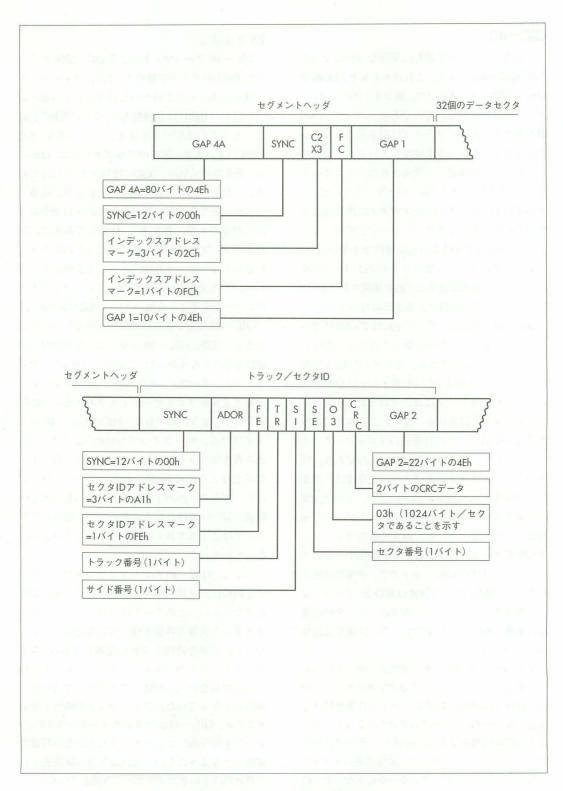


図 23-2 QIC-40 の論理構造

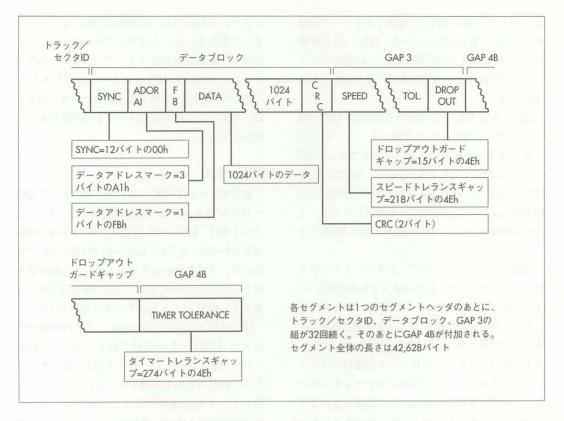


図 23-2 (続き)

メディアのベンダーの多くは、フォーマットしていないディスクと比べてほんの少し上乗せしただけの価格でフォーマットを済ませたカートリッジを販売している。

QIC-40やそれに続くミニカートリッジにフォーマットが必要だということは、必ずしも欠点とはいえない。フォーマットは手間がかかると同時に多くの利点も持っているのである。たとえば、フォーマット中に不良セクタを見つけ出すことができる。また、テープはファイルアロケーションテーブルと一緒にフォーマットされるため、個々のセクタはランダムにアクセスが可能となる。テープがある特定の位置へ移動しなければならないのは変わりないが、フォーマットをすることによって、各セクタの場所が周りのセクタを参照しなくても一度で特定できるようになる。つまり、1つのファイルを探すためだけにテープ全体を読む必要はなくなるのだ。結果として、QIC-40のテープはフ

ロッピーディスクの動作を真似することができる わけである(ランダムアクセスの速さは真似でき ないが)。さらに、テープがフォーマットされてい れば、使用途中のテープへのファイルの書き込み が簡単になる。これは、システムがテープのどこ にデータを書き込むスペースが残っているかすば やく見つけ出せるからである。

QIC-80

QIC-40 の次なる段階が QIC-80 で、基本的には前の規格をもとにしてそれを発展させたものである。QIC-80 では、テープ上のトラックの物理的配列やデータ密度だけでなく、論理データフォーマットや(これによって、論理的には、あるドライブで作ったテープがほかのドライブでも使用できる。これが最終的に目指しているところである)、エラー訂正(これによって、論理的には、バックアップ元のディスクよりもエラー発生率が低くな

る)、そして自由に選択して使用できるデータ圧縮 方式についても規定されている。QIC-80 に準拠 したテープドライブは、前のQIC-40 規格のカー トリッジを読むことはできるが、書き込むことは できない。

QIC-40 と QIC-80 の大きな違いは、QIC-80 のテープには QIC-40 より細いトラックが QIC-40 より多く走っているということである (QIC-40 では 20 本だったものが、QIC-80 では 32 本になった)。さらに、各トラックのデータ密度は、10,000 bpi から 12,500 bpi へと増加している。この基本的な違いによって容量は 2 倍の 80M バイトとなった。

QIC-80 はフロッピーディスクコントローラを 使うことができるが、新たに購入する必要はない。 QIC-80 のインターフェイスは 765 フロッピーディ スクコントローラチップ、またはその相当品をベー スにしており、セパレート型ホストアダプタボー ドまたはパーソナルコンピュータの現行のフロッ ピーディスクコントローラのスペアチャネルの一 部になっている場合がある。この回路がどのよう な構成をとっているかによって、特定のミニカー トリッジシステムのインストールの容易さが決ま る。ドライブによっては、システム本体にある予 備の FDD コネクタに直接接続できるものもある が、フロッピーディスクコントローラからの信号 が妨げられてドライブに送信されないものもあり、 パーソナルコンピュータ内部で配線を変えるなど の面倒な処置が必要となる場合もある。また、専 用の回路を持つ拡張ボードを追加する方法もある が、これもフロッピーディスクコントローラチッ プをベースにしていることに変わりはない。

QIC-80のインターフェイスは、従来のフロッピーディスクコントローラをベースにしているが、この規格は超高密度タイプのFDDに使用されるもっと高密度なデータ転送速度もサポートしている。この場合の速度は毎秒1Mビットである。1.5倍の長巻タイプのテープもあり、この場合、1カートリッジあたりのQIC-80の容量は120Mバイトまで増加する。大抵のQIC-80のシステムでは、オプションとしてデータ圧縮が可能で、実質的には容量を2倍にして使えるとされている(どの圧縮

システムの場合でも、圧縮率は圧縮するデータによって異なる。たとえばプログラムのファイルが10%しか圧縮されなくても、グラフィックのファイルなら90%も圧縮されるということもある)。このため、QIC-80 のシステムのメーカーの多くは、理論上では最高 250M バイトの容量があると宣伝している。

QIC-100

番号順でいえば QIC-80 に続く規格として QIC-100 があるが、この名称は誤解を招くものだ。というのは、QIC-100 は QIC-80 より古い規格であるからだ。さらに、QIC-40 や QIC-80 の場合には、その名称からそのシステムの公称容量を知ることができるが、QIC-100 の場合はそれとは異なり、40M バイトしかテープに記録できない。

QIC-40のほかにこの40Mバイトの規格が作られた目的は、その性能の高さにあった。QIC-100では、コントローラをFDDと共用することなく独自のものを使用することによって、より速いデータ転送速度を得ることができたのである。当然ではあるが、専用のコントローラが必要ということで、FDDと共用するシステムよりは費用がかかる。QIC-100はQIC-40やQIC-80などの本流からは外れており、QIC委員会からさえ"古い規格"と評された唯一のミニカートリッジ規格である。

QIC-100では、12本または24本のサーペンタイン方式(後述)のトラックに、12,000FRPI(1インチあたりの磁束変化)の密度でデータを連続して記録できる。この規格はQIC-40ほど制限がなく、ブロック長は決められていなかった。QIC-40と同様にQIC-100も使用前にフォーマットをする必要がある。

QIC-100は QIC-128によってその地位を奪われることになった。QIC-128は、QIC-100または SCSI インターフェイスを使用して、DC2110カートリッジで 86M バイト、DC2165 カートリッジで 128M バイトのデータが記録できた。

今後のミニカートリッジ規格

QIC 委員会は21世紀まで続いて使用されるメ

ディアとしてミニカートリッジが生き残るように 規格を決定した。

QIC-80を引き継ぐ形で、そのすぐ後に設定 される予定の規格が QIC-500M である。この規 格では、データ圧縮を使用せずに 500M バイトの データが記録できる。QIC-500M は QIC-40 や QIC-80 に対して下位互換性を維持して設計され ており、それらの規格で記録されたテープを読み 出すことができる。さらに、高い保磁力 (900 エ ルステッド)を持つテープを使った新しいカート リッジは QIC-143 と命名され、0.5G バイトの容 量を達成することが要求されている。QIC-40や QIC-80 と同様に、QIC-500M のドライブもフ ロッピーディスクインターフェイスを使用してパー ソナルコンピュータに接続できるが、この規格で は、ATアタッチメントインターフェイスも使用 できる。データ圧縮については、QIC-80とまっ たく同じアルゴリズムが使用され、これによって 実質容量は1Gバイトにまで跳ね上がる。

これらに対して、速度を追求した規格としてQIC-410Mがある。これは、SCSI-2の接続を使用してパーソナルコンピュータに接続できる設計である。この規格は、既存の規格との下位互換性はなく、カートリッジ1本につき410Mバイトしか(圧縮によってこの容量は2倍になる可能性があるが)記録できないが、SCSIインターフェイスによってより高い速度が約束されている。

次なる発展形は QIC-875M で、QIC-410M や QIC-500M と同じ 900 エルステッドのミニカートリッジを使用する設計になっているが、記録できるのは 875M バイトだけである。この規格では、67,733 bpi のデータ密度とテープ上に 38本のトラックが必要である。QIC-875 に適合するドライブは、QIC-410M および QIC-40/80 のどちらのテープでも読み出すことができる。また、QIC-875M 用のドライブも SCSI-2 の接続を使

用する。

さらに将来的には、QIC-410M との互換性を維持しつつこれを引き継ぐ QIC-3GB が登場する。QIC-3B はカートリッジに新しいタイプのテープを使用したものである。名前が示すとおり、この規格は1本のカートリッジにつき、圧縮せずに3Gバイトの容量があり、圧縮を使うと容量はその2倍になるというものである。

QIC 委員会はすでに 10G バイトのミニカートリッジ規格も提案しており、また、35G バイト記録できるミニカートリッジの構想も持っている。

ミニカートリッジの互換性

QICの標準規格に準拠しているからといって、必ずしも異なったメーカーのドライブ間で、テープの互換性が保証されているわけではない。現行の規格ではテープのデータフォーマットが規定されているが、すべてのテープバックアップシステムのメーカーがこの規格に準拠しているわけではないからである。

この規格には不足している部分がある。実は、テープのファイル構造の正確な配列方法が指定されていないのである。配列は、テープシステムを動かすバックアッププログラムを開発する個々のソフトウェアの開発者に任されている。そのため、テープ自体は異なるメーカーのドライブ間でも共通して使用でき、装置を問わずに読み取ることが可能であるにもかかわらず、読み取った結果をバックアップソフトウェアがファイルに復元できない場合がある。どのシステムのテープからでも1バイトも残さず読み取ることができるが、ファイル構造に互換性がないため、ただデータの山が残るだけという結果に終わってしまう可能性がある(ファイルの区別ができなくなり、場合によってはファイルが混ざってしまう可能性もある)。

23.7 ヘリカルスキャンシステム

これまでに述べたテープシステムに共通してい る基本的な原理は、動くのはテープであって、ヘッ ドは固定されているということである。したがっ て、情報の読み書き速度は、テープの走行速度と データの記録密度によって決まることになる。ディ スクメディアの場合に、データの記録密度とディス クの回転速度によってデータ転送速度が決まるの と同様である。しかし、50年代を振り返ってみる と、技術者が TV 画像を一般的な記録テープに録 画する技術を開発していた当時から、すでにデー タ転送速度は開発上のネックになっていた。TV 画像は1秒あたり数 M バイトというデータ量に なるが、一般的なテープシステムの大部分は毎秒 数千バイトの速度しか出せなかったからである。 ところが、テープと同様にヘッドも動かせばよい という発想の転換によって、テープとヘッドとの 相対速度を増加させることに成功したのである。

当然ではあるが、ヘッドをテープと並行に動かすことはできない。初期のビデオテープ装置では、テープの動きに対してヘッドをほとんど垂直に移動させていた。しかし、数十年の試行錯誤を経た後、テープに対してわずかに傾斜させたヘッドを回転させて、テープ上のらせん状のセクションを走査する方法が、最も実用的なシステムであるという結論に至った。これをヘリカルスキャン記録方式という。現在普及しているヘリカルスキャンシステムは2種類ある。8mm テープとデジタルオーディオテープ(DAT)である。

へリカルスキャン方式の記録システムでは、ドラム上に回転するヘッドが取り付けられている。テープは保護カートリッジの外で、ドラムの周囲に巻き付けられる。つまり、2本のアームによってテープをカートリッジから引き出し、ドラムを半周するように巻き付けるのである。ドラムは直角からわずかに傾斜させてあるため、ヘッドはテープに対して斜めに回転することになる。ドラムの傾斜角度は、8mm テープでは約5度、DAT の場合は約6度である。

へリカルスキャン方式の記録システムを使用すると、テープの表面積すべてを利用することができる。従来の固定ヘッドの記録システムでは、データを記録する2本のトラックの間に、保護バンドという未使用領域が必要だった。これに対して、ヘリカルスキャンシステムでは、トラックを重ねることができる(実際に重なっている)。8mmのテープシステムでは現在でも保護バンドを使用しているが、DATでは、端が重なり合ったトラックに次々とデータを書き込んでいく。

トラックを重ねることができるのは、実は、ドラム上に回転するヘッドを2つ(もしくはそれ以上)取り付けてあるからである。それぞれのヘッドは、テープ上のトラックに対して異なる角度でデータを書き込む(この角度を方位角という)。データの読み取り時には、各ヘッドは、自分と同じ方位角を持った記録データに対しては強く反応するが、異なる方位角のデータには弱い反応しか示さない。DATマシンでは、トラックの垂線に対して、一方のヘッドは前方20度、もう一方のヘッドは後方20度に傾斜させてある。

8mmテープシステム

最も身近な8mmテープ装置としては、8mmビデオカメラがあげられる。高性能の小型8mmビデオカメラを最初に開発したのはSonyである。8mmテープは、後にExabyte社によってデータの記録用に採用され、1987年にパーソナルコンピュータ市場に登場したが、現在のところ、8mmテープを使用したデジタルドライブ装置の販売を行っているのはExabyte社だけである。

テープバックアップシステムとしては、以前は ビデオテープレコーダー (VTR) が使用されてい た。しかし、VTR でコンピュータのデジタルデー タをテープに記録するためには、ビデオ信号と同 じアナログ形式に変換する必要があった。Alpha Microsystems は、Videotrax と名付けた製品に この方法を採用している。

Videotrax バックアップシステムでは、ハード ディスクなどのデータを、ホストコンピュータに装 着した1枚の拡張カードによって、従来のビデオ テープレコーダーへのバックアップや記録が可能 な NTSC (National Television Standard Com mittee) 規格のビデオ信号に変換する。 VTR 装 置としては VHS 方式とベータマックス方式のど ちらでも使用できるが(プロ用の U-matic でも よい)、Alpha Microsystems は VHS 方式のレ コーダーを採用している。Videotrax システムで は、Alpha Microsystems 独自のデジタルービデ オ信号変換ボードと、パーソナルコンピュータか らの遠隔操作が行えるように特殊な改造を加えた VHSレコーダーを組み合わせている。バックアッ プ時には、ホストコンピュータからテープ操作の コマンドが発行される。また、手動で操作するこ ともできる。

ドロップアウト(テープ上のビデオ信号がわずかに消失すること)の発生を最小限に抑えるために、Videotraxでは、テープ上に同じデータを重複して書き込むようになっている。これを冗長書き込みというが、重複データの同一箇所にドロップアウトが発生する確率は統計的に少ないため、この記録操作は有効である。ただし、冗長書き込みには、データを重複して書き込むための時間とスペースが必要になるという欠点がある。80Mバイトのデータをバックアップすると、まる2時間分のビデオテープを消費する。当然、バックアップにも2時間要することになる。

Exabyte が開発した 8mm ヘリカルスキャンシステムでは、8mm ビデオカメラシステムと同じカセットを使用している。カセットのプラスチックシェルには2つのハブがあり、オーディオ用のカセットテープに似ているが、テープの幅が広く(カセットテープが0.150インチであるのに対して、8mm テープは0.315インチである)、テープに傷が付かないように開閉式のドアが付いている。カセットの大きさは3.75インチ×2.5インチで、厚さは約0.5インチある。

Exabyte の 8mm テープシステムは、デジタル データの記録に徹して設計されていたため、ビデ オ信号はまったく処理することはできない。 最初の8mmテープシステムでは、ヘッドドラムの回転速度は毎分1,800回転、テープの走行速度は砂速10.89mmで、これによって、1インチあたり819本のトラック密度と、1インチあたり54Kビットの磁束密度を実現していた。これは、カートリッジあたりでは2.5Mバイトの記憶容量に相当する。その後の開発によって、記憶容量は圧縮しない場合で5Mバイトに達している。テープの前後の移動速度も速く、特定領域(およびデータブロック)の発見までに要する時間は15秒以内である。

しかしながら、8mm テープドライブはきわめて 高価で、システム一式が数千ドルもする。ドライ ブ単体でも 1,000 ドル以上するため、大容量とい う長所を生かして、ファイルサーバのバックアップ 装置としての市場が基本的なターゲットととなる。

デジタルオーディオテープ

音楽を録音するために開発されたデジタルオー ディオテープ (DAT) が、コンピュータ用の記憶 メディアとして初めて登場したのは1989年であ る。DATでは、4mm幅のテープ(4mmテープと いうこともある)を使用した小さなカートリッジ に、大量のデータを記録することができる。最初 の DAT システムでは、高さ 0.4×幅 2.9×奥行き 2.1 インチの小さなカートリッジに、1.3G バイト のデータを記録することができた。この大記憶容 量の秘密は、保磁力1,450エルステッドの特殊な 金属磁性体の粒子を塗布したテープにある(この 磁性体は、8mm デジタルテープシステムでも使 用されている)。このテープによって、1平方イン チあたり 114M バイトの記録が可能になっている が、この記録密度は、現行のコンピュータ用テープ メディアの中で最も高い。カセットには、60メー トルまたは90メートルのテープが入っている。カ セットあたりの記憶容量は、60メートルのテープ の場合は 1.3G バイト、90 メートルの場合は 2.0G バイトになる。

DAT ドライブのテープの走行速度は秒速 8mm で、1インチの走行に約3秒を要する。しかし、ヘッドドラムの回転速度が毎分2,000回転と速いため、テープ上の1インチ幅に1,869本のトラッ

クを配置して、1インチあたり 61K ビットの磁束 遷移密度を実現することができる。

DAT 技術には重要な長所が2つある。アクセス速度と記憶容量である。オーディオ用のDATメディアが情報への高速なアクセス(高速な選曲)

に重点を置いて開発されたため、コンピュータ用の DAT でも必要なファイルの発見には約15秒しかかからない。バックアップ用途の場合、アクセス速度はさして重要ではないが、速度が速ければファイルの再生が容易になる。

23.8 標準規格外のテープシステム

メーカーの独自技術を採用した多数のテープシステムがこれまで開発されてきたが、販売市場での結果は様々である。一般的にいって、これら規格外のシステムは、(価格、速度、容量、使いやすさなどの)一部の面に関しては優れているが、システム全体として見ると、標準規格に準拠したものよりも劣っている。そのため、大部分はすぐに消え去る運命となった。それだけの理由があったからである。ときには在庫品を目にすることもあるが、実際には博物館で見る機会の方が多い(博物館入りがふさわしいほどの旧型のパーソナルコンピュータで使用されていることもある)。消え去るべくして消え去ったこの種のシステムには、DC1000カートリッジ、サーボフォーマットテープ、スプールテープの3つがある。

DC1000カートリッジ

DC1000 カートリッジは、少し薄くなっていること以外は、DC2000 型と長さも幅もほぼ同じであるが、使用するテープは (オーディオ用カセットテープと同じで) 幅が 150 ミル (1,000 分の 150 インチ) である。このテープには 10~20M バイトのデータを記録することができる。200M バイトのハードディスクが市場の主流になってくると、記憶容量の少ないこのようなシステムの運命は明らかである。

DC1000 カートリッジを使用するテープシステムは、主として価格の安さから、成功を収めるのではないかと見られた時期もあった。実際、フロッピーディスクコントローラを使用した場合、DC1000システムは小型コンピュータ用に販売されているテー

プシステムの中では最も安価である。DC1000システムの市場を制していたのは Irwin Magneticで、実質的にはこれが DC1000 製品の標準規格を設定していた。

DC1000システムは、記憶容量が小さい点を除けば、本質的な欠点はない。しかし、ハードディスクの記憶容量の急激な伸びに対抗することができなかった。さらに、QIC 規格が DC1000を上回る記憶容量を達成する一方で、DC2000システムの価格が下がってきたことが DC1000システムの衰退の理由である。

サーボフォーマット式ミニカートリッジ

一時期に限れば DC1000 は成功した。そのため、Irwin Magnetic は同じ技術を、少し大型のDC2000 型カートリッジに応用した。DC2000 型のテープの標準である「QIC-40」や「QIC-80」の標準フォーマットを使わず、独自の(つまり、QICとの互換性がない)フォーマットを開発したのだ。このフォーマットでは、サーボデータが事前に埋め込まれる。テープ上にサーボデータが埋め込まれていると、読み書きヘッドがテープ上の幅の狭いトラックに位置を合わせるのが容易になるため、精度が劣る安価なテープドライブを使用することができるのである。

繰り返すが、DC1000の技術にはこれといった 欠点はない。したがって、QICフォーマットの大 容量ドライブがいつか現れるとすれば、この方式 を採用すると思われる。一時期とはいえ、DC1000 システムは成功を収め、Irwin Magnetic はミニ カートリッジのテープドライブ市場の半分近くを 制したのである。ところが、他社がQIC-80 仕様の製品を Irwin Magentic 以下の価格で販売することに成功したため、Irwin Magentic は市場のシェアを失う結果になった。 Irwin Magentic 製のドライブは現在でも販売されているが、会社自体は Archive 社に吸収されて、ほかの事業に組み込まれている。

スプールテープ

一時期、Interdyne というメーカーが、1/4インチカートリッジとオープンリールテープを折衷したようなテープを使用する装置を販売していたことがあった。3480カートリッジからテープだけ

を取り出して幅を狭くしたようなこのテープを、スプールテープという。この4分の1インチ幅のテープが巻いてあるリールはプラスチックケースに入っており、ドライブに装着すると、自動的にテープが引き出されて、ドライブに内蔵された巻き取りスプールにセットされる。テープを使用する一般的なバックアップシステムと同様、Interdyne製のスプールテープドライブでも、フロッピーディスクコントローラを使用する。このスプールテープは、計算上は、カートリッジがない分だけ、ほかのテープメディアよりも安価になるはずであったが、Interdyneは市場で成功を収めることはできなかった。

23.9 テープ操作

テープドライブの話をする上では、使用されているテープの種類と同様、テープの駆動方式も大切な要点である。多種多様なメディアに対して様々な駆動方式が使用されており、それらがすべて、テープシステムの動作速度や使いやすさに直結している。

調歩式テープ操作

各テープドライブの基本的な相違点は、テープの駆動方式にある。初期のドライブでは、調歩式で読み書きを行っていた。つまり、データをブロック単位(128 バイト〜数 K バイト)で処理し、1 ブロックを受信するたびにテープへの書き込みを行う方式である。この方式のドライブでは、1 ブロックの処理が終了すると、次のデータブロックが到着するまでの間、テープの走行を停止する。ドライブは、データを正しく読み取れるように、1 ブロックごとにテープの準備を整えた上で、ブロックを識別していく必要があった。パーソナルコンピュータ側でも初期の機種では調歩式のテープ操作が必要であったが、これには別の理由がある。この時期の大部分のパーソナルコンピュータは処理速度が遅く、テープドライブの書き込み速度に

合わせてデータを送信することができなかったためである。

ストリーマテープ

1981年、DEI と Archive は、1/4インチのカートリッジを使用する世界初のドライブシステムを発表した。これがストリーマテープドライブである。この製品は、データの受信とテープへの書き込みを連続的に行うことができるため、テープを停止させる必要がない。ブロックの間でテープが停止しないことから、データの受信速度が向上したわけだ。また、停止していたテープを即座に加速したり、テープスプールの回転を止める必要もないため、軽量の駆動機構を使うことで、装置の価格を下げることも可能になった。現在では、パーソナルコンピュータ用テープドライブの大部分で、データの連続的な読み書きが可能になっている。

並行記録方式

コンピュータ用のテープ記録メディアとして初めて標準規格が制定された9トラックテープでは、並行する複数のトラックに垂直にデータを記録す

る。その際、9本のトラックのうちの1本をパリティ用に使用して、8本のデータトラックを垂直に横切る1バイトのデータに対して、1ビットのパリティビットを記録する。このテープは、一度きりの書き込みだけであれば問題ないが、テープの終わりにきたら、次回の書き込みのためにテープを巻き戻さなければならない。

サーペンタイン記録方式

一方、パーソナルコンピュータ用のほとんどの テープシステムでは、データは連続的に書き込ま れる。やはり複数のトラックを使用するが、この種のテープシステムでは、サーペンタイン記録方式という方法を用いている。データビットは、一度に1トラックずつ、テープの先頭から末尾まで一方向に連続して書き込まれ、テープの末尾に達すると、テープの走行方向が反転し、読み書きへッドが次のトラックの位置まで1ステップ移動して、そのトラックの書き込みを行う。再度、テープの末尾に達すると、もう一度走行方向の反転とヘッドの移動が行われる。テープ内の全トラックに対して、このプロセスが繰り返される。

23.10 そのほかの注意点

テープドライブやテープを購入する際に問題になるのは、テープのフォーマットだけではない。たとえば、パーソナルコンピュータへのテープドライブの取り付け方(および取り外し方)や、ドライブへのテープの装着方法を考慮する必要がある。

内蔵型ドライブと外付けドライブ

内蔵型ドライブと外付けドライブは、一般的にほとんど同じである。実質的な違いは、内蔵型ドライブの設置にドライブベイの空きが1つ必要なことだけである。外付けドライブは、筐体と接続ケーブルが必要な分、内蔵型のものより概して価格が高いが、1台のドライブを数台のパーソナルコンピュータで共有できるという利点がある(ただし、パーソナルコンピュータごとにホストアダプタが必要になる場合がある)。

外付けドライブのもう1つの利点は、標準的な双方向パラレルポートを通してパーソナルコンピュータと接続できる機種があることである。パラレルポートはほとんどのパーソナルコンピュータに装備されているため、パーソナルコンピュータに接続する際に、ホストアダプタを追加する必要がない。このような機種は、通常、フロッピーディスクインターフェイスを使用するほかの装置の速度に合わせてデータを送信する。定期的なバックアッ

プが必要な複数のパーソナルコンピュータを抱えている場合でも、外付けテープドライブは1台で 用が足りる。

設置スペースが取られるのを避けたい場合や、ドライブメーカーが外付けドライブに施した筐体の外装や電源装置分のコストを節約したい場合は、内蔵型ドライブを選択することになる。ほかの内蔵型の周辺装置と同様に、内蔵型テープドライブの設置にもドライブベイの空きが1つ必要で、かつ、そのドライブベイはフロントパネルからアクセスできなければならない。内蔵型ドライブの大部分は、ほかのディスクドライブ装置と同様の電圧を必要とするため(回路に DC 5V、ドライブモータに DC 12V)、標準的なドライブ電源コネクタでパーソナルコンピュータの電源部と接続することになる。

メディアの整合性

ほかのリムーバブルメディアドライブ装置と同様に、カートリッジ(または、それに相当するもの)は、テープドライブが作業を行う直接の対象である。ほとんどのテープメディアは、オーディオ装置やビデオ装置に使用されるテープカートリッジとはまったく異なるが、データテープカートリッジの中には、オーディオ用やビデオ用のカセットと

同じサイズのものがある (D/CAS、8mm、DATなど)。データの精度が保証されているとはいえ、データテープは、オーディオ用やビデオ用のカセットテープで代用したくなるほど価格が高い。コンピュータの世界に限ってみても、メーカーが自社のテープドライブ用として公式に認可しているものではなく、安いミニカートリッジを使用したくなることがある。

しかし、残念ながら、データテープは、保磁力 や残磁性など、設計上の特性が異なっている。し たがって、基本となるコーディングノッチが合わ ないため、オーディオカセットテープを D/CAS マシンに使用することはできない。一方、オーディ オ用やビデオ用のヘリカルスキャン方式のカセッ トはコンピュータ用のドライブにも使用可能だが、 コンピュータ用のメディアにははるかに厳しい条 件が求められる。オーディオ用テープでは検出され ないほどのわずかなドロップアウトが、コンピュー タシステムでは、データエラーやデータ損失につ ながってしまう。8mm テープの場合はさらに条件 が厳しい。8mm ビデオテープはアナログ方式に よる記録用に設計されており、コンピュータシス テムでは、同じテープを飽和状態にしてデジタル データを記録するからである。

メタルテープ専用モードのないオーディオシステムでメタルテープを使用しても、優れた音質は得られないように、データシステムに合わないテープを使用すると、エラーの発生率が著しく高くなる。重要なデータを記録している場合は、ドライブシステムのデータ密度との適合性が保証されていないテープを使用するのは避けるべきである。

バックアップソフトウェア

テープドライブは、実際のバックアップシステムの一部分に過ぎない。システム上で実行するバックアップソフトウェアも、テープドライブと同様に重要である。このソフトウェアによって、テープドライブの可能な機能と使用方法が決まるからである。

現在、市場にあるバックアップソフトウェアは、 ほぼすべてがメニュー選択方式になっており、(バッ チモードやコマンド駆動方式のオプションといっ た) 定期的なバックアップ処理を自動化する機能を持っている(はずである)。不定期なバックアップしか行わない人は、詳細なコマンド構造を習得する時間が惜しいはずで、このようなメニュー選択方式のソフトウェアは最適である。バックアップ処理を自動化した上で、不定期なバックアップも行う場合には、コマンドモードでの実行が可能なソフトウェア(つまり、正しく機能しているかどうか、パーソナルコンピュータの電源を切らずにおいたかどうかといったことを心配しなくても、ベッドで羊を数えている間に自動的にバックアップを実行してくれる機能があるプログラム)を使用することになる。

一般的にいって、バックアップ方式には2種類がある。イメージ形式のバックアップと、ファイル単位のバックアップである。ただし、ドライブメーカーは、それぞれが自社のテープドライブに合わせた独自のフォーマット規格を開発している。

■イメージバックアップ

イメージバックアップとは、バックアップの対象のディスク全体をビット単位でコピーすることである。ディスクから読み取られたデータは、内容や構造に関係なく、テープ上に単純にコピーされる。処理上のオーバーヘッドがほとんどないため、イメージバックアップは高速に行うことができる。

イメージバックアップの欠点は、不良トラックや未使用のディスク領域を含む全トラックを読み取るため、バックアップ時とまったく同じドライブを復元することになってしまうことである。これでは、システム間でデータを交換する必要がある場合(ハードディスクがクラッシュしたために、別のハードディスクに交換する場合など)には、明らかに不都合がある。この解決方法としては、テープからハードディスクにファイルを戻すときに必要となるディレクトリ構造やファイル構造を、バックアップ時に同時に保存しておけるようにする機能を、復元プログラムに追加すればよい。

イメージバックアップにはもう1つ欠点がある。 ディスク全体のバックアップしか行えないことで ある。これは、ディスク上の全データをテープに コピーする場合には最速の方法であるが、ファイルを1つだけバックアップしたい場合には役に立たない。ファイル1つのために、ディスクの中味をまるごとバックアップしなくてはならないのでは、時間の浪費である。

■ ファイル単位のバックアップ

ファイル単位のバックアップでは、ディレクトリやファイルの構造を含めたバックアップが行われる。イメージバックアップに比べて処理速度が低下することが多いが、ディレクトリ構造内のファイルの検索が容易である(したがって、個々のファイルを簡単に復元できる)。

ファイル単位のバックアップの欠点は、ディレクトリやファイルの構造に関するデータを処理する時間が必要になる点である。昔はほとんどのシステムがこの処理に要する時間によって、過酷な減速を強いられていたため、テープの速さに合わせてテープドライブにデータを転送することができなかった。調歩式記録方式にいたっては、バックアップに要する時間は膨大なものとなる。

この状況が変わったのは、高速なパーソナルコンピュータと優れたバックアップソフトウェアが登場してからである。現行のパーソナルコンピュータは大部分が高速で、余裕のある速度でハードディスクのデータを読み取り、処理を加え、テープドライブに転送することができる。ファイル単位のバックアップでは、必要なデータだけを選択してバックアップすることが可能なので、イメージバックアップと比較すると、バックアップ時間の点で有利である。このため現在では、イメージバックアップに代わって、ファイル単位のバックアップを行うのが普通になっている。

ファイル単位のバックアップシステムでは、テープへの書き込みの対象とするファイルを、数種類の方法で指定することができる。これまで、ファイル名の入力、ファイル固有の特性の入力、画面表示されたファイルリストからの選択などの方法が多く利用されてきた。

ファイル固有の特性を使用すると、ファイルの 選択が容易になる。ファイル指定メニューの選択 肢に加えられていることが多い最も一般的な特性 には、アーカイブビット、日付スタンプ、ディレクトリなどがある。アーカイブビットは、前回のバックアップの対象になったかどうかを示すものである。日付スタンプを利用すると、特定の日付を指定して、その日以降に変更が加えられたファイルだけをバックアップすることができる。ディレクトリを指定すると、それより下にある全サブディレクトリのファイルがすべてバックアップされる。ソフトウェアによっては、名前や特性を指定して、それに該当するファイルをバックアップの対象から外すという機能を持つものもある。

テープシステムでは、通常、各バックアップ作業に名前を付けることができる。名前を付けておくと、たとえば、テープのカートリッジに紙のラベルを貼り忘れた場合でも、テープを区別してファイルを読み取ることができる。また、紛失や盗難があっても機密データが漏れることがないように、パスワードを記録する機能を持っているシステムも多い。

コストの問題

バックアップシステムを選択する場合の最大の 問題はコストである。速度、記憶容量、互換性、 使いやすさなど、高機能を求めれば切りがない。

パーソナルコンピュータ用で現在最も高価なシステムは、9トラックのオープンリールテープを使用するものである。9トラックのオープンリールテープは、ほかのコンピュータシステムでの使用やデータ交換が容易な上、データの機密保護もほぼ万全であるため、現在も一定の地位を占めている。ヘリカルスキャンシステムは次に価格が高い。大容量や先進的な回転ヘッドの技術に価値を認める場合は、これが購入の対象となる。

1/4 インチカートリッジでは、DC6000 タイプの大型システムが最も高価だが、それだけに、現在のところ最高速のシステムであり、記憶容量も大きい。

テープの必要経費

リムーバブルメディアシステムでは、メディア にかかる費用がすぐにハードウェアの価格を超え てしまう。ユーザーは購入するテープの本数を制 限したくなるほどだ。

一般的にいって、全データを3回バックアップできるだけのテープメディアがあれば、当面は十分であると思われる。念のためにもう少し余裕が欲しい場合(たとえば、曜日ごとにバックアップデータを残しておきたい場合など)は、それが可能なだけのメディアを購入する必要がある。定期的なバックアップを行う人は、ほとんどが6~10本のテープを使用している。

テープにかかる経費には、磨耗による定期的な 交換も考慮する必要がある。カートリッジ方式の ハードディスクメディア以外は、テープメディア もディスクも必ず少しずつ磨耗する。

メディアの耐用年数は使用頻度によって決まる。 メディアメーカー大手の DEI によると、DC6000 型カートリッジは、読み書きヘッドの通過回数で いえば、5,000~6,000 回の通過に耐えうる。大型 コンピュータの管理者の中には、50 回程度の使用 でテープを交換する用心深い人もいるが、DEI に よれば、年1 回の交換を目安にするとよいとのこ とである。

バックアップの用途以外に目を向けた場合、システム間の価格差には別の見方が出てくる。たとえば、メインフレームのテープにどうしてもアクセスする必要がある場合や、情報交換を行いたい場合は、予算には目をつむって、オープンリールテープドライブを購入せざるをえない。

バックアップ計画

優れたバックアップシステムとは、(定期的に) 使用する気になるシステムであるといえるだろう。 バックアップシステムの価値は、機能や価格では なく、使いやすいかどうかで決まる。操作が容易 で最も便利なシステム(そして、トラブルが発生 したときの処理が容易なシステム) に注目すべきである。

どのようなバックアップハードウェアを選ぼうとも、バックアップシステムが必要であることには変わりない。バックアップシステムには、ハードウェアだけでなくソフトウェアも必要である。バックアップシステムを生かすためには、まずハードディスク上の全ファイルをバックアップし、その後は厳密な予定を定めて定期的なバックアップを行う必要がある。

バックアップの全過程を監視するつもりならば、バックアップシステムが高速であるほど楽である。しかし、一晩中パーソナルコンピュータの前に座ってバックアップを監視する気がない場合(そして、バックアップの全課程が正常に行われると信じている場合)は、自動バックアッププログラムを活用して、意味のない時間の浪費を避ける方が賢明である。終了するのを待つ必要がなければ、バックアップの所要時間は問題にならない。

たとえ速度が遅いものでも、バックアップシステムはあるに越したことはない。思い出したときにしかバックアップを行わない場合でも、バックアップデータがまったく存在しない場合よりもましである。ハードディスクのクラッシュを一度経験すれば、たとえバックアップにどれほど時間がかかろうとも、現在のデータを残しておくことの価値を思い知るはずである。

最良のバックアップシステムとは、定期的なバックアップ作業を行う気になるものであり、最悪の事態が発生した場合でもデータの安全を保証するシステムである。(まれにしか)使用されないバックアップシステムは、バックアップシステムとはいえないのだ。

索引

Symbols	486SL · · · · · · 79
.ARC 512	486SLC2·····80
	486SX · · · · · · 78
Numbers	487SX · · · · · 79, 99
1/2インチテープ・・・・・・710	4mm テープ・・・・・・・ 725
1/4インチカートリッジ・・・・・・715	4 ウェイインタリーブメモリ118
1×1,024K ビットチップ・・・・・・133	4ウェイセットアソシエイティブ・・・・・・77
12 インチ WORM システム・・・・・・696	4 ウェイセットアソシエイティブキャッシュ · · · · · · · 119
1/2 ハイトドライブ 268	5.25 インチフロッピー・・・・・・・26, 593
12 ビット FAT · · · · · · 630	5.25 インチフロッピーの過激な復旧法612
15 ピン高密度 Dsub コネクタ · · · · · · 408	586 81
16450	6502 · · · · · · 21, 24
16550 · · · · · 482	6800
16550A · · · · · 482	6845 328, 348, 364
16C552 · · · · · 483	72 ピン SIMM · · · · · · · 139
16 ビット FAT · · · · · · · 630	765 コントローラチップ 565, 603
16 ビットデータバス 154	8008
24 ビットアドレス指定	80186 · · · · · · 67
AT バスの~・・・・・154	80286 · · · · · · 68
24 ビットカラー・・・・・・326	80287 · · · · · 97
2.5 インチフロッピー・・・・・・599	8042 · · · · · · 229
2,7RLL · · · · · · 552	8080 · · · · · 64
287XL98	8085 · · · · · 65
287XLT 98	8086 24, 65
2 ウェイインタリーブメモリ・・・・・・・118	8087 · · · · 93
32 ビット拡張バス・・・・・・156	8088 24, 65
32 ビット機能拡張	80C86·····66
EISA ⊘~·····174	80C88·····66
3480 カートリッジ・・・・・・・・712	82284 · · · · · · 218
3.5 インチフロッピー・・・・・・597	8237 A · · · · · · · 227
36 ビット SIMM · · · · · · · 139	8254 – 2 · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
~の容量・・・・・・139	8250 · · · · · · 482
386DX · · · · · · 69	8253 · · · · · 219
386SL · · · · · · · 73	8259223
386SLC · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	82786 · · · · · 339
386SX · · · · · · · 72	8284A · · · · · · 217
387 98	82C206 · · · · · 186
387SX · · · · · 99	82C453 · · · · · 339
3,9RLL 553	82C496 · · · · · 186
3C87······103	82C497 · · · · · 186
3 線式シリアル接続・・・・・・494	82C836 · · · · · 218
4×256K ビットチップ・・・・・・133	83C87 · · · · · 104
4×64K ビットチップ・・・・・・133	83D87
4004	8514/A
486 · · · · · · · · 76	接続・・・・・375 メモリ・・・・・375
486DX	86C911 339
486DX2·····80	80C311 · · · · · 339

8mm テープ・・・・・・ 724	DMA 転送・・・・・・574
8 インチフロッピー・・・・・26	DMA 転送・・・・・・・・・・・575
9/25 ピンシリアル変換器・・・・・・・487	
9 / 25 ピンシリアル変換器・・・・・・・・487 9 トラックテープ・・・・・・710	I/Oプログラム転送モード・・・・・・・574, 575
9 ピン Dsub コネクタ・・・・・・・408	ATA インターフェイスのレジスタ
9 ピン Dsub コネクタ・・・・・・・408	書き込みコマンドブロックレジスタ・・・・・・574
A	書き込み制御ブロックレジスタ・・・・・・574
200	コマンドレジスタ・・・・・・574
Abacus 3167	制御プロックレジスタ・・・・・・574
Abacus 4167 · · · · · 105	読み取りコマンドプロックレジスタ574
ABIOS	読み取り制御ブロックレジスタ・・・・・574
A/B切り替え器・・・・・・・・・・・・・・・・・467	ATA のインプリメンテーション · · · · · · · · · 572
ACK	AT BIOS198
Adaptec 580	ATI
Adobe Systems · · · · · 454	ATM 459
Adobe Type Manager·····454, 459	AT アタッチメント · · · · · · · 563, 570, 628, 665
Advanced SCSI Programming Interface580	AT アタッチメントの配線 · · · · · · 679
Agfa Compugraphic · · · · · 459	AT インターフェイス · · · · · · 563
ALR タワー型コンピュータ · · · · · · · · · 274	AT 型ドライブベイ · · · · · · 270
ALU 61	AT キーボード
AMI · · · · · 196, 201	AT コマンド・・・・・・519
ANSI 696	AT Ø DMA · · · · · 227
ANSI エスケープシーケンス 445	AT のケース・・・・・・262
APA グラフィックス · · · · · 444	AT のタイマ/カウンタ · · · · · · 220
APA ディスプレイ 324	AT の電源 · · · · · · · · 242
APL27	AT の割り込み・・・・・・225
Apple Computer · · · · · 21	AT バス · · · · · · · 152
Apple DOS22	AT バスの信号
Apple I	DMA 制御ライン · · · · · · · 152
Apple II	I/O 16 ビットチップセレクト · · · · · · 154
A Programming Language · · · · · 27	I/O チャネルレディ信号 · · · · · · 154
ARC 512, 555	アドレスライン・・・・・・152
ASCII キャラクタセット 444	シスシムバスハイイネーブル・・・・・・154
ASIC215	ゼロウェイトステート信号154
ASPI 579, 580	データライン152
ATA インターフェイス・・・・・・563	メモリ 16 ビットチップセレクト・・・・・154
ATA インターフェイスの I/O アドレス576	リフレッシュ信号・・・・・・・155
ATA インターフェイスの信号	割り込みライン・・・・・・152
DMA アクノリッジ信号・・・・・・575	Award Software · · · · · 196
DMA 要求信号 · · · · · · 574	
I/O チャネルレディ信号 · · · · · · 575	В
診断完了信号575	Ball Point Mouse · · · · · 313
スピンドル同期/ケーブル選択信号・・・・・・575	BASIC27, 55
ドライブ I/O 書き込み信号 · · · · · · · · 574, 575	BASICA 208
ドライブ I/O 読み取り信号574, 575	baud · · · · · 508
ドライブアクティブ/ドライブ1存在信号575	Bell 103 · · · · · 514, 508
ドライプアドレスバス・・・・・・574	Bell 212A · · · · · 514
ドライブチップ選択 0 信号574	Bell 規格 · · · · · · 514
ドライブチップ選択 1 信号 · · · · · · 574	BIOS 26, 37, 123, 130, 318
ドライブリセット信号・・・・・・575	~の欠点・・・・・194
ドライブ割り込み信号575	~の互換性・・・・・・196
ATA インターフェイスの速度 · · · · · · 576	パラメータの受け渡し200
ATA インターフェイスの転送方式	BIOS 互換

VGA ∅~367	CPU61
BIOS の日付・・・・・・・201	CRC 201, 513, 719
BitBlt	CRT 328, 383
Bitstream · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	CSA
BNC コネクタ · · · · · · · · 408	CTS 信号············490
bps · · · · · · · 481, 504	CW507
Bチャネル・・・・・・・・・・・・・・・・・・・518	
B) 447/	D
C	D/CAS システム······714
CAM 579	DAC
CAM 委員会·························579	DAT
CBIOS	DC1000 カートリッジ・・・・・・726
CCF	DC2000549
CCITT 514, 538	DC300A カートリッジ・・・・・・715, 716
CCITT 規格············516	DC6000
CD	DC6000 カートリッジ・・・・・・717
CD-ROM	DC600 カートリッジ · · · · · · · · · 717
	DC-2000 カートリッジ・・・・・・718
CD-ROM インターフェイス・・・・・・694	DCD 信号・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
CD-ROM のメディア 691	DCE
CD-ROM エクステンション・・・・・694	DEBUG コマンド・・・・・・・・201, 426, 484
CD-ROM F517	DEC
CD-ROM のデータ転送速度・・・・・・693	Diablo
CD-ROM プレーヤー 692	
CD 信号	DIP パッケージ・・・・・・132
CEG330	Display PostScript
Centrinics	DMA
CGA319, 350	DMA アドレス指定
border color · · · · · 352	EISA ∅~177
アトリビュート・・・・・・352	DMA コントローラ 177, 227
アトリビュートバイト・・・・・・352	DMA チャネルの不足・・・・・・155
色選択レジスタ 352	DMA 転送モード
境 界 色······352	タイプ B 転送 (EISA) ······177
高解像度モード・・・・・・354	タイプ C 転送 (EISA) ········177
出力 · · · · · · 355	バースト DMA · · · · · · 177
属性352	DMPL 473
ダブルスキャン CGA · · · · · · · 357	DOS エクステンダ・・・・・・126
中間解像度モード・・・・・・353	DOS プロテクトモードインターフェイス · · · · · · · · 127
低解像度グラフィックスモード353	DPMI · · · · · · 127
テキストモード・・・・・・・351	DRAM · · · · · 111
ドットボックス・・・・・・351	DRIVER.SYS605
モノクロモード・・・・・・・356	DSR 信号 · · · · · · · 490
Chips and Technology · · · · · 339	DTE 487
CHMOS70	DTE 同士の通信 · · · · · · 491
CISC 52	DTMF 529
CLUT326	DTR 信号 · · · · · · 490
CMOS · · · · · 59, 681	DX4 · · · · · · 82
CMOS メモリ	DXBB PC/AT チップセット・・・・・・186
リアルタイムクロックの~・・・・・・・223	D チャネル・・・・・・518
COM1~4······484	Б
Commodore 64 · · · · · · · · 279	E
Common Access Method · · · · · · 579	EEC
CP/M·····22, 24, 64	EEMS129

EEPROM · · · · · 113	FCC クラス・・・・・・279
EGA319, 359	FCC 認定 · · · · · · 282
アドレス指定 363	FCC 認定番号······282
インターフェイス・・・・・・・361	FCC パート 15 サブパート B278
解像度・・・・・・360	FCC パート 15 サブパート J278
カラー・・・・・・360	FDA412
周波数360	FDA 認可·················412
メモリ構成・・・・・・・360	FIFO
モニタの互換性・・・・・・・362	FM 記録······503, 551
モノクログラフィックス・・・・・・360	FPU
EGA Plus	FSK507
EISA	FSK モデム 508
EISA 拡張ボード・・・・・・・173	Fully Formed Character Printer 435
EISA コネクタ・・・・・・173	runy Pormed Character Frinter455
EISA の信号	
DMA アクノリッジリンクライン・・・・・・179	-
DMA 要求ライン・・・・・・・179	GCR 方式······552
DIMA 安米フィン・・・・・・・179 アービトレーション信号・・・・・・・179	GP-GL
	GridPAD Computer 313
バイトイネーブル信号・・・・・・175	Group 1 FAX
バス幅信号175	Group 2 FAX
メモリアクノリッジ信号179	Group 3 FAX516, 538
メモリ要求ライン・・・・・・179	Group 4 FAX · · · · 538
EL	Group Corded Recording · · · · · 552
ELF411	GWBASIC 208
ELF 放射 · · · · · · 414	100 cm - 1 cm -
EMC87 · · · · · 102	H
EMC ソケット・・・・・・91	Hayes519
EMR · · · · · 409	Hayes 互換モデム・・・・・・519
EMS · · · · · 127	HD63484 · · · · · 339
EMS Version 4.0 · · · · · · 129	Hercules グラフィックスカード・・・・・・358
Enhanced EMS · · · · · 129	Hercules グラフィックス規格・・・・・・359
EPROM · · · · · 113	Hewlett-Packard443, 455, 459
Epson の制御コード・・・・・・・450	HGC · · · · · · 358
Epson プリンタコマンド 450	互换性358
ESC シーケンス・・・・・・・445	メモリ構成358
ESDI563, 568, 628, 665	HiColor RAMDAC······330
ESDI の配線 · · · · · · · · 675	High DOS Memory · · · · · 129
ETX 485	High Memory Area129, 130
ETX/ACK ハンドシェイク 485	High Sierra フォーマット 694
Exabyte	HIMEM.SYS 127
Expanded Memory マネージャ・・・・・128	HMA · · · · · 129
Extended Memory · · · · · · 125	Houston Instrument · · · · · · 473
Extended Memory Specification · · · · · · 127	Howtek 438
Extended Memory マネージャ・・・・・127	HP-GL 456, 472, 473
DEPENDENT OF THE PARTY OF THE P	
F	THE COLUMN TWO IS NOT
FaceLift for Windows · · · · · 460	i860 · · · · · 339
Fast SCSI 578	i960 · · · · · 339
FAT 561, 611, 699	IBM SIMM139
FAX536	IBM 拡張文字セット・・・・・・450
FCC · · · · · · 162, 276, 414	IBM プリンタコマンド・・・・・・450
FCC 規格 · · · · · · · · 276	IDE562, 570

IDE インターフェイス・・・・・・563
IEEE 92
Inmos 6171S · · · · · · 366
Integrated Information Technology · · · · · 339
Intellifont
Iomega Corporation · · · · · · 617
I/Oアドレス313
I/Oサポートゲートアレイ······218
I/Oチャネル······197
1/0バス331
I/O ポートの重複 · · · · · · 180
I/Oマップコプロセッサ······90, 103
I/O ユニット
マイクロプロセッサの~・・・・・・61
IRQ 313
ISA バス・・・・・・153
ISDN 517, 518
ISO696
ISO 9660 · · · · · 694
Isopoint
ISP チップ・・・・・178
ITUT V.34 516
J
JEIDA · · · · · 189
JX-80 · · · · · · 461
K
Kermit 510
Keymouse313
L
LAPB513
LAPM 513
LaserJet
LCD398
LCD シャッタ · · · · · · 439
LED397, 440
LED プリンタ・・・・・・・・440
LFU アルゴリズム 584
LIM-EMS 127
LIMulator·····128
LIM メモリ・・・・・・127
Link Access Procedure, Balanced · · · · · 513
Link Access Procedure for Modems · · · · · 513
LOADHIGH コマンド
LPT1/2/3426
LRU アルゴリズム・・・・・ 584
LSB
L51·····60

M	
Mach 8····	339
magneto-optical · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	699
MC146818 · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
MCA · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	156
MCGA · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	364, 370
グラフィックスモード	371
ソフトウェア互換性	371
テキストモード・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	370
ハードウェア互換性	37]
MDA	319, 348
カーソル・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	349
ドットボックス	348
ハードウェアカーソル・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	349
パラレルポート	425
フレーム周波数	348
MFM 記録 · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	551, 566, 592, 628
Microcom·····	
Microcom Networking Protocol·····	514
MNP·····	
MNP10	<u>51</u> 5
MNP2	
MNP3	
MNP4	
MNP5	
MNP6	
MNP7	
MNP9	
MNP 規格	
MO	
MODEM · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
MODE コマンド	
modulator – demodulator · · · · · · · · · ·	
MOV·····	
MO の書き込み操作・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
MO の速度·······	
MO のメディア · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
MO の読み取り操作······	
MPR · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
MPR 基準 · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
Mr.BIOS · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
MS-DOS ······	
MTBF	
MX-80	
WA-80	43
N	
NMI	
NMI マスクレジスタ	10
XT <i>σ</i> ~····································	15
NMOS	
Northgate·····	

0	PS/2 キーボード・・・・・・289
OEM · · · · · 39	PS/2 Ø DMA · · · · · · 228
OPTi バス・・・・・・186	PS/2のケース・・・・・・・264
OS/2·····126, 128, 372	PS/2のタイマ・・・・・・220
OverDrive100	PS/2のタイマ/オシレータ/クロック ······218
AND AND ADDRESS OF THE PARTY OF	PS/2のドライブベイ・・・・・・272
P	PS/2 の割り込み・・・・・・・226
P24T · · · · · · 82	
Parity Check1······115	Q
Parity Check2······115	QIC717
PCB21	QIC-100 カートリッジ・・・・・・ 722
PC BIOS	QIC-40········719
PCI 187, 333	QIC-80 カートリッジ · · · · · · · 721
PCL	QIC-143 カートリッジ · · · · · · · 723
PCL5 · · · · · · · · 455, 459	QIC-410M カートリッジ · · · · · · · 723
PCMCIA 189, 265	QIC-500M カートリッジ · · · · · · · 723
PC/XT +-ボード	QIC - 875M カートリッジ · · · · · · · 723
PC/XT // X	QIC 委員会 · · · · · · · 717
PC型ドライブベイ・・・・・・268	QIC 規格·······717
PC カード	Quarter-Inch Cartridge Standards Inc
PC カードの機能・・・・・・・189	Qume
PC カードの電気的接続 · · · · · · 189	QWERTY 配列······293
PC Ø DMA	QWERT 1 ELDJ
PC のケース	B
PC のタイマ・・・・・・ 220	Radio Shack
PC の割り込み・・・・・ 224	RAID
PC #- F	RAID 1
pel	RAID 2
Pen Point	RAID 3
Pentium	RAID 4
PE 方式·······716	RAID 5
PGA ソケット	RAM
Phoenix Technologies · · · · · · 196	RAMDAC
PKzip	RFI
POS	RGBI
マイクロチャネルの~~~~163	
POST	$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
PostScript	RISC
PostScript Level2	RISC
POST エラーメッセージファイル・・・・・210	
POTS	RLL
Power-Good 信号······236, 247	RLL 記錄方式············552
Powermouse	Rolm Corporation23
Printed Circuit Board	ROM PASIC
Printer Control language	ROM BASIC
PRN	RTS 信号···········490
Programmable Option Select	K15 li 5 ······490
PROM	S
PROM バーナー	S-100 // X
PROM プログラマ・・・・・・113	S3339
PS/2156, 209, 364	SC11481
PS/2 7 F/1 × 7 F BIOS · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	SC11461
210	201

SC11486 · · · · · · 331	TMS34010 · · · · · · 340, 378
SC11487 · · · · · · 331	TMS34020 · · · · · · 340
SC11488 · · · · · · 331	TN399
SC11489 · · · · · 331	TN ディスプレイ399
SCATsx218	Trackpoint · · · · · · 313
SCSI 563, 577, 628	TRS-8022, 278
SCSI 2 · · · · · 578	TRS-DOS22
SCSI ID 679	True Color
SCSI ケーブルのピン配列 · · · · · · 577	TrueType 459, 460
SCSI 操作 · · · · · · · 578	TTL 235, 329, 348, 403
SCSI のアービトレーション・・・・・・578	TTL インターフェイスモニタ · · · · · · 349
SCSI の互換性 · · · · · · · · 579	TTL 入力互換機能······401
SCSI の接続・・・・・・・679	TTL モノクロディスプレイ · · · · · · 402, 403
SCSI のターミネータ・・・・・・・680	Typel フォント・・・・・・・・459
SCSI の配線・・・・・・・・・・・・・・・・680	Type I PC カード・・・・・・189
SCSI ホストアダプタ · · · · · · · · · · · · · · 579, 679	Type II PC カード・・・・・・189
SDS 56 · · · · · 517	Туре III РС カード189
SERIAL 1~8 · · · · · 484	
Shugart Technology · · · · · · 566	U
Silicon SubSystem	UART482
SIMM 138, 582	UL253
SIPP	UL 114 規格·······254
SIP パッケージ · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	UL 1950 規格······254
SMDS	UL 478 規格·······254
SMI 割り込み・・・・・・74	ULSI
Snap In 386 · · · · · · 73	UL 登録 · · · · · · · · 254
Speedo 7 # > 1	UL 認定 · · · · · · · 254
SRAM	UL 分類 · · · · · · · · 255
キャッシュの~ 118	UL マーク · · · · · · · 253
マキッシュの~	UMB129, 130
ST506 の配線····································	Underwriters Laboratories
ST506 ····································	UPS
ST506 規格······566	USB505
S1500 規格	UV6000
Stieve Wozniak	0 7 0000
	V
SuperMathDX	v.22 · · · · · · · 516
Super VGA	v.22bis·····514, 516
Switched = 56	v.32······514, 516
Switched Data Services 56	v.32bis········483, 514, 516
Switched Multimegabit Data Service518	
sync on green · · · · · · · · 408	v.42 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
System 7 · · · · · · 460	v.42bis······512, 514, 516
S レジスタ · · · · · · · · 523	v.fast516
_	V20
Т	V30
Tandy Radio Shack · · · · · · 22	VAR
TARGA	VCPI127
TARGA #- F	VDE
Tektronix · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	VDT
TFT	VESA
THOR	VESA フィーチャコネクタ・・・・・・368
TIGA 340	VESA ローカルバス187

VGA ····· 363	XT のケース・・・・・・261
カラー・・・・・365	XT の電源・・・・・・242
グラフィックス解像度364	XT の割り込み ······ 224
互換性366	XTバスの信号
コネクタ・・・・・・369	DMA アクノリッジライン · · · · · · · 149
周波数366	DMA リクエストライン・・・・・・149
信号365	I/O 書き込みコマンドライン · · · · · · · 149
テキスト解像度365	I/O チャネルチェックライン·····148
補助ビデオコネクタ・・・・・・367	I/Oチャネルレディライン · · · · · · · · 149
メモリ366	I/O 読み出しコマンドライン · · · · · · · 149
モノクロ動作368	アドレスイネーブルライン149
VGA ディスプレイ · · · · · · 405	アドレスライン・・・・・・148
VGA フィーチャコネクタ · · · · · · 367	アドレスラッチイネーブルライン148
VGA モノクロディスプレイ · · · · · · 404	オシレータライン・・・・・・148
Video Electronics Standards Association · · · · · · 373	クロックライン・・・・・・148
VLF411	ターミナルカウントライン149
VLF 放射 · · · · · · · 414	データライン 148
VLSI60	メモリ書き込みコマンドライン149
VLバス · · · · · · 187, 334	メモリ読み出しコマンドライン149
VLバスのコネクタ187	リセットドライバライン・・・・・・・148
VL バスの転送モード · · · · · · · 187	割り込み要求ライン・・・・・・149
VRAM · · · · · 121	X-Y プロッタ · · · · · 471
	X 線放射 · · · · · · 411
W	
WD1002 · · · · · 562, 629	Υ
WD1002 エミュレーション · · · · · · · 580, 679	Y 型アダプタ · · · · · · · 244
WD1003 · · · · · 629	Y 字ケーブル······665
WD5086 · · · · · 339	
Weitek · · · · · 339	Z
Windows	Z80······22, 24, 64
Windows for Pen Computing · · · · · · 312	ZIP パッケージ
Wiz · · · · · · 313	770 250 350 350 350 350 350 350 350 350 350 3
WORM ドライブ・・・・・・・・・695, 697	ア
WORM の標準規格・・・・・・・・・696	アウトラインフォント・・・・・・・456
WORM のメディア 697	亜鉛/カーボン電池・・・・・・・239
WTL1167 · · · · · · 104	アクセス速度・・・・・・・581
	アクティブマトリックス・・・・・・399
X	アスセスタイム
X.25 パケット交換サービス・・・・・・513	メモリの~ 116
Xerox	アスペクト比395
XGA	アセンブリ言語・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
カラー・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	アダプタ記述ファイル・・・・・・209
ダイレクトアドレッシングモード・・・・・・379	アダプタの識別番号209
動作モード・・・・・・・・・・・・・・・・・・・378	アダプタプレート・・・・・・270
ハードウェアスプライト・・・・・・・・・・378	アクラクレート
メモリ	正編製送 EISA の~・・・・・・176
XMODEM	アテンションキャラクタ······519
XMS	アドインコード
XON/XOFF ハンドシェイク・・・・・・・485	アドオン BIOS
XT型ドライブベイ・・・・・・・ 268	アドオンメモリマネージャ・・・・・・125
XTの8番スロット・・・・・・・150	アドバースチャネルエンハンスメント・・・・・・515
XT Ø DMA	アドバンスド BIOS · · · · · · · 210
551	210

アドバンスド RLL 553, 566	インストラクション
アドバンスドキーボード・・・・・・・・288,300	数値演算コプロセッサの~ 89
アトリビュート	マイクロプロセッサの~・・・・・・50
キャラクタの~・・・・・・28	インストラクションキャッシュ・・・・・120
アトリビュートバイト・・・・・・・319	インストラクションセット
アドレス・・・・・・・・・・114, 123	マイクロプロセッサの~・・・・・・50
アドレス可能度·······393, 441, 472	インタープリタ 55
アドレス指定	インターリーブ・・・・・・・・・・・・・・・・662
数値演算コプロセッサの~ 98	インターリーブファクタ・・・・・・・670
アドレス指定の拡張	インタリーブメモリ118
EISA Ø~174	インタレースシステム・・・・・・・・・402
アドレスバス······62	インタレースモニタ・・・・・・・388
アドレッシングモード	インテグレータ
486 0~ 120	インデックスパルス・・・・・・602
アナログ式調整つまみ・・・・・・396	インデックスビット
アナログディスプレイ・・・・・329	キャッシュラインの~119
アナログデバイス・・・・・・57	インデックスホール・・・・・・594
アナログ電圧レベル・・・・・・407	インテリジェントターミナル・・・・・・317
アノード・・・・・・・・・・383	インパクトドットマトリックスプリンタ・・・・・・434, 436
アパチャグリル・・・・・390	インパクトプリンタ433
アービトレーション · · · · · · · · · 156, 168, 175, 179, 467	インプットプライム・・・・・・・・429
ソフトウェア~·······150, 100, 175, 175, 175	インラインガン
ハードウェア~・・・・・・169	1071000
アプリケーションインターフェイス・・・・・・338	ウ
アプリケーションソフトウェア・・・・・・27	ウィンチェスターディスクドライブ・・・・・・・616
アモルファス型記憶装置698	ウィンドウイフェクト・・・・・・・・416
アラインメント・・・・・・・・・・・・・・・・・389	ウィンドウイング・・・・・・・336
アルカリ電池・・・・・・239	ウェイト・・・・・・・121
アロケーションユニット・・・・・・560	ウェイトステート
アンダースキャン・・・・・・・・395	ウォッチドッグ機能 221
727 2442	ウォームブートコマンド・・・・・・585
1	
イオン化スパークギャップ・・・・・・248	工
位相遷移507	エアフォイル・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・616, 617
位相符号化方式・・・・・・716	液晶ディスプレイ・・・・・・398
位相変調・・・・・・・507	エコープレックス・・・・・・506
一次記憶装置・・・・・・109	エスケープシーケンス・・・・・・・・・・・・・・・・・・445, 450
一次キャッシュ・・・・・・120	エスケープ文字 445
一次元チップ・・・・・・25	エッジコネクタ・・・・・・138
一次元配列	エッジトリガ割り込み164, 178, 226
~メモリチップ25	エッジライト LCD · · · · · · 398
一次電池・・・・・・・・・・239	エラー修正アルゴリズム・・・・・・662
移動体通信・・・・・・・・・515	エラー修正ドライブ・・・・・・・662
意図的放射体・・・・・・・278	エラーチェック・・・・・・・513
イニシエータ····································	エラー訂正・・・・・・513
イメージバックアップ・・・・・・729	エルステッド・・・・・・549
色温度 387	エレクトロルミネセント・・・・・・398
色参照テーブル・・・・・・・326	エレベータシーク・・・・・・・・・・・・・・・・・・668
陰極線管383	エントリポイント・・・・・・196
インクジェット・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	エントンスドキーボード・・・・・・・288
インクジェットプリンタ・・・・・・・・437	エンハンスド RGB モニタ · · · · · · 405

7	仮想メモリ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・122
応答コード・・・・・・527	386 Ø~ 70
オシレータ216	80286 Ø~68
オシレータの調整器・・・・・・222	カソード・・・・・・・・・・383
オートサイジング・・・・・・396	片面ディスク・・・・・591
オートチェンジャ・・・・・・705	活字型キャラクタプリンタ435, 436, 447
オーバースキャン・・・・・・395	過電圧 246
オーバードライブプロセッサ・・・・・・80	過電圧保護 · · · · · · 248
オプトメカニカルマウス・・・・・307	カード選択機能
オープンリールテープ・・・・・・710	XT Ø~150
オールポイントアドレッサブルグラフィックス・・・・443,444	カナダ規格協会253
オールポイントアドレッサブルグラフィックディスプレイ	可飽和リアクタレギュレータ249
324	画面サイズ・・・・・・395
音響カプラー・・・・・529	カラー印刷・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・440, 455, 460
音声入力	カラーエッジグラフィックス・・・・・・330
モニタの~・・・・・・・・・・・・・・・・・・409	カラーサブキャリア・・・・・・・356
オンライン記憶装置109	ガラスエポキシ基板・・・・・・・38
The second of the second secon	ガラスエポキシプリント基板21
力	カラートラッキング・・・・・・・・401
回線の補償・・・・・・・510	カラープレーン・・・・・・・・325
解像度 392, 441, 538	カラーモニタ・・・・・・・405
下位側波带505	カラールックアップテーブル・・・・・・366
開ループ型・・・・・・624	ガルバニ電池・・・・・・239
書換可能型光ディスク・・・・・・・・・・698	感光ドラム・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
書き込み可能読み出し専用メモリ113	感熱式プリンタ・・・・・・・439
書き込みバッファ584	ガンマ値・・・・・・・401
書き込み補償機能 629	
拡張可能 BIOS · · · · · · · · · · · · 200	+
拡張グラフィックスアダプタ・・・・・・359	機械語・・・・・・・54
拡張グラフィックスアレイ377	機械式マウス・・・・・・306
拡張スロット・・・・・・36,37	基材 · · · · · · 709
拡張スロットの間隔・・・・・・261	奇数パリティ・・・・・・499
拡張バスのアドレス範囲・・・・・・145	帰線期間・・・・・・・・・・・402
拡張バスのアドレスライン・・・・・・145	輝度調整
拡張バスの速度・・・・・・・146	キートップ・・・・・・・292
拡張バスのデータ転送・・・・・・・・145	キートラベル・・・・・・290
拡張ヘイズコマンド・・・・・・523	揮発性メモリ・・・・・・112
拡張へイズコマンドセット・・・・・520	キーボード・・・・・・・・・・29, 287
拡張ボード・・・・・・35	キーボードコントローラ・・・・・・298
拡張文字	キーボードデコーダ・・・・・・・229
仮数 89	キーボードの接続・・・・・・・299
カスケード接続	キーボードバッファ・・・・・・125
割り込みコントローラの~・・・・・・・224	キャッシュ・・・・・・ 581
カセット BASIC 208	キャッシュコントローラ
カセットテープ・・・・・・ 713	メモリの~・・・・・・118
カセットポート・・・・・・・26	キャッシュコントローラチップ・・・・・・121
画素386	キャッシュ制御プログラム584
仮想 8086 モード・・・・・・・71, 125	キャッシュ動作・・・・・・・583
画像サイズ・・・・・396	キャッシュのサイズ・・・・・・118
仮想制御プログラムインターフェイス127	マイクロプロセッサ内部の~119
画像調整396	キャッシュの論理的構成119
仮想ページメモリマッピング128	キャッシュヒット・・・・・・118

キャッシュミス118, 119
キャッシュメモリ
マイクロプロセッサの~・・・・・・・61
キャパシタ・・・・・・111
キャパシティブキーボード・・・・・・290
キャラクタ ROM・・・・・・319
キャラクタボックス319
キャラクタマッピング
~ディスプレイ・・・・・・・28
キャラクタマップディスプレイ・・・・・・318
キャラクタマップモード・・・・・・・・443
キャリア・・・・・・・503, 693
キャリアウェーブ・・・・・・ 507
キュリー温度549, 701
強制冷却方式274
曲率 391
金属酸化バリスタ・・・・・・・248
2
偶数パリティ・・・・・499
クォッドデンシティ ・・・・・ 592
組み込み型コントローラ562
クラシックバス153
クラスタ・・・・・・560
クラッシュ・・・・・・・622
グラフィックアクセラレータ・・・・・・・339
グラフィックアクセラレータ······339 グラフィック印刷·····443
グラフィック印刷・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
グラフィック印刷・・・・・・443 グラフィック開発システム・・・・ 339
グラフィック印刷・・・・・443 グラフィック開発システム・・・・・339 グラフィックコプロセッサ・・・・・339
グラフィック印刷・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
グラフィック印刷 443 グラフィック開発システム 339 グラフィックコプロセッサ 339 グラフィックスアクセラレータ 334 グラフィックスコプロセッサ 334
グラフィック印刷 443 グラフィック開発システム 339 グラフィックコプロセッサ 339 グラフィックスアクセラレータ 334 グラフィックスコプロセッサ 334 グラフィックス操作環境 372
グラフィック印刷 443 グラフィック開発システム 339 グラフィックコプロセッサ 339 グラフィックスアクセラレータ 334 グラフィックスコプロセッサ 334 グラフィックスは作環境 372 グラフィックスピード 468
グラフィック印刷 443 グラフィック開発システム 339 グラフィックコプロセッサ 339 グラフィックスアクセラレータ 334 グラフィックスコプロセッサ 334 グラフィックスは作環境 372 グラフィックスピード 468 グラフィックスプリミティブ 336
グラフィック印刷・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
グラフィック印刷 443 グラフィック開発システム 339 グラフィックコプロセッサ 339 グラフィックスアクセラレータ 334 グラフィックスコプロセッサ 334 グラフィックスは作環境 372 グラフィックスピード 468 グラフィックスプリミティブ 336 グラフィックスプリミティブ 337, 338 クランプ速度 248
グラフィック印刷 443 グラフィック開発システム 339 グラフィックコプロセッサ 339 グラフィックスアクセラレータ 334 グラフィックスコプロセッサ 334 グラフィックス操作環境 372 グラフィックスピード 468 グラフィックスプリミティブ 336 グラフィック操作環境 337, 338 クランプ速度 248 クランプ電圧 248
グラフィック印刷 443 グラフィック開発システム 339 グラフィックコプロセッサ 334 グラフィックスコプロセッサ 334 グラフィックスは中環境 372 グラフィックスピード 468 グラフィックスプリミティブ 336 グラフィック操作環境 337, 338 クランプ速度 248 クランプ電圧 248 クリック 302
グラフィック印刷 443 グラフィック開発システム 339 グラフィックコプロセッサ 334 グラフィックスアクセラレータ 334 グラフィックスコプロセッサ 334 グラフィックス操作環境 372 グラフィックスピード 468 グラフィックスプリミティブ 336 グラフィック操作環境 337, 338 クランプ速度 248 クリッグ 302 クリップオンマウス 309
グラフィック印刷 443 グラフィック開発システム 339 グラフィックコプロセッサ 334 グラフィックスアクセラレータ 334 グラフィックスコプロセッサ 334 グラフィックス操作環境 372 グラフィックスピード 468 グラフィックスプリミティブ 336 グラフィック操作環境 337, 338 クランプ速度 248 クランプ電圧 248 クリック 302 クリップオンマウス 309 クリーンルーム手法 101
グラフィック印刷 443 グラフィック開発システム 339 グラフィックコプロセッサ 334 グラフィックスアクセラレータ 334 グラフィックスコプロセッサ 334 グラフィックス操作環境 372 グラフィックスピード 468 グラフィックスプリミティブ 336 グラフィック操作環境 337, 338 クランプ速度 248 クリンプ電圧 248 クリック 302 クリップオンマウス 309 クリーンルーム手法 101 グループコーディング 509, 552, 553
グラフィック印刷 443 グラフィック開発システム 339 グラフィックコプロセッサ 334 グラフィックスアクセラレータ 334 グラフィックスコプロセッサ 334 グラフィックス操作環境 372 グラフィックスピード 468 グラフィックスプリミティブ 336 グラフィック操作環境 337, 338 クランプ速度 248 クリンプ電圧 248 クリック 302 クリップオンマウス 309 クリーンルーム手法 101 グループコーディング 509, 552, 553 グレア防止処理 393
グラフィック印刷 443 グラフィック開発システム 339 グラフィックコプロセッサ 334 グラフィックスアクセラレータ 334 グラフィックスコプロセッサ 334 グラフィックス操作環境 372 グラフィックスピード 468 グラフィックスプリミティブ 336 グラフィック操作環境 337, 338 クランプ速度 248 クランプ電圧 248 クリック 302 クリップオンマウス 309 クリーンルーム手法 101 グループコーディング 509, 552, 553 グレア防止処理 393 クロスオーバーケーブル 491
グラフィック印刷 443 グラフィック開発システム 339 グラフィックコプロセッサ 334 グラフィックスアクセラレータ 334 グラフィックスコプロセッサ 334 グラフィックス操作環境 372 グラフィックスピード 468 グラフィック操作環境 337, 338 クランプ速度 248 クランプ電圧 248 クリック 302 クリックオンマウス 309 クリーンルーム手法 101 グループコーディング 509, 552, 553 グレア防止処理 393 クロスオーバーケーブル 491 クロストーク 423
グラフィック印刷 443 グラフィック開発システム 339 グラフィックコプロセッサ 334 グラフィックスアクセラレータ 334 グラフィックスコプロセッサ 334 グラフィックス操作環境 372 グラフィックスピード 468 グラフィック操作環境 337, 338 クランプ速度 248 クランプ電圧 248 クリック 302 クリック 309 クリッフオンマウス 309 クリーンルーム手法 101 グループコーディング 509, 552, 553 グレア防止処理 393 クロスオーバーケーブル 491 クロストーク 423 クロック 216
グラフィック印刷 443 グラフィック開発システム 339 グラフィックコプロセッサ 334 グラフィックスアクセラレータ 334 グラフィックスコプロセッサ 334 グラフィックス操作環境 372 グラフィックスピード 468 グラフィック操作環境 337, 338 クランプ速度 248 クランプ電圧 248 クリック 302 クリック 309 クリーンルーム手法 101 グループコーディング 509, 552, 553 グレア防止処理 393 クロスオーバーケーブル 491 クロストーク 423 クロック 216 数値演算コプロセッサの~ 97
グラフィック印刷 443 グラフィック開発システム 339 グラフィックコプロセッサ 334 グラフィックスアクセラレータ 334 グラフィックスコプロセッサ 334 グラフィックス操作環境 372 グラフィックスピード 468 グラフィック操作環境 337, 338 クランプ速度 248 クランプ電圧 248 クリック 302 クリック 309 クリックホンマウス 309 クリーンルーム手法 101 グループコーディング 509, 552, 553 グレア防止処理 393 クロスオーバーケーブル 491 クロストーク 423 クロック 216 数値演算コプロセッサの~ 97 クロックダブリング回路 80
グラフィック印刷 443 グラフィック開発システム 339 グラフィックコプロセッサ 334 グラフィックスコプロセッサ 334 グラフィックス操作環境 372 グラフィックスピード 468 グラフィックスプリミティブ 336 グラフィック操作環境 337, 338 クランプ速度 248 クランプ電圧 248 クリック 302 クリップオンマウス 309 クリーンルーム手法 101 グループコーディング 509, 552, 553 グレア防止処理 393 クロスオーバーケーブル 491 クロストーク 423 クロック 216 数値演算コプロセッサの~ 97 クロックダブリング機構 61
グラフィック印刷 443 グラフィック開発システム 339 グラフィックコプロセッサ 334 グラフィックスコプロセッサ 334 グラフィックス操作環境 372 グラフィックスピード 468 グラフィックスプリミティブ 336 グラフィック操作環境 337, 338 クランプ速度 248 クランプ電圧 248 クリック 302 クリップオンマウス 309 クリーンルーム手法 101 グループコーディング 509, 552, 553 グレア防止処理 393 クロスオーバーケーブル 491 クロック 216 数値演算コプロセッサの~ 97 クロックダブリング回路 80 クロックダブリング機構 61 クロックバルス 53
グラフィック印刷 443 グラフィック開発システム 339 グラフィックコプロセッサ 334 グラフィックスコプロセッサ 334 グラフィックス操作環境 372 グラフィックスピード 468 グラフィックスプリミティブ 336 グラフィック操作環境 337, 338 クランプ速度 248 クランプ電圧 248 クリック 302 クリップオンマウス 309 クリーンルーム手法 101 グループコーディング 509, 552, 553 グレア防止処理 393 クロスオーバーケーブル 491 クロストーク 423 クロック 216 数値演算コプロセッサの~ 97 クロックダブリング機構 61

群符号化 552	2
ケ	
蛍光体 · · · · · · 383	3
ケースの冷却・・・・・・・274	4
結合剤 · · · · · · · 709	9
ゲルバッテリ・・・・・・・・239	
,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,	,
コアメモリ・・・・・・110	
硬 X 線 · · · · · · 41	
光学式マウス30%	
高級言語	
公衆回線モデム・・・・・・510	
高水準言語・・・・・・・・・55	5
高速モデム・・・・・・・508	8
高密度ディスク 59:	1
高密度ノッチ・・・・・・599	9
高密度フロッピーディスクヘッド・・・・・596	6
互换 BIOS · · · · · · · 210	
互換キーボード・・・・・・・・289	
国際電信電話諮問委員会51	
国際標準化機構 · · · · · · 690	
固体インクジェットプリンタ・・・・・・・・・・43	
固定ディスク・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
コーティング・・・・・・・394, 709	
コードレスキーボード・・・・・・・・・295	
コプロセッサ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
XGA ∅~37'	
コマンドセット	•
マイクロプロセッサの~5	n
コマンドモード・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・51	
コールドプート・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
コールドフューザ · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
混線・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・42.	
在線 42. コンタクトメディア 62. 62. 62. 62. 62. 62. 62. 62. 62. 62.	
コンタクトメティ /	
コントローラ	
コントローラ搭載キャッシュ・・・・・58	
コンパイラ5	
コンパクトディスク・・・・・・・69	
コンバージェンス・・・・・・38	
~の障害・・・・・・・38	
コンベンショナルチップ・・・・・・13	
コンベンショナルメモリ・・・・・・・123, 12	
コンポジットカラーモニタ・・・・・・・40	
コンポジットシンク・・・・・・・40	
コンポジットディスプレイ・・・・・・・40	
コンポジットモニタ350, 360, 395, 40	
コンポジットモノクロディスプレイ40	4

ታ	磁束遷移550
サイクル時間	自動応答 528
メモリの~・・・・・・117	自動シートフィーダ・・・・・・・・・・461
最小使用頻度アルゴリズム・・・・・・584	自動セットアップ・・・・・・180
最小使用頻度アルゴリズム・・・・・・584	自動速度感知·····529
最長時間未使用アルゴリズム 584	自動ダイヤル・・・・・・529
サージ・・・・・・・・・・・247	自動同期モデム・・・・・・ 530
サスペンドモード	自動トランスレーションモード631
SL チップの~・・・・・79	自動パーク&ロック機能627
サブシステムコントロールブロックアーキテクチャ・・・・171	シートフィーダ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・463
サブモデルバイト・・・・・・・202	シフトレジスタ・・・・・・・556
サブルーチン	ジャケット・・・・・・・・・・・593
アセンブリ言語の~・・・・・・55	シャシーハードディスクシステム・・・・・・・666
サーペンタイン記録方式・・・・・・728	シャッタ 597
サーボ制御直流モータ618	シャドウマスク・・・・・・・390
サーボトラック・・・・・・ 706	シャドウメモリ・・・・・・・・130
サーボフォーマット式ミニカートリッジ・・・・・726	シャノンの限界値506
サーボボイスコイルアクチュエータ・・・・・・・625	シャントレギュレータ・・・・・・234
サーボ面・・・・・・・・・・・625, 628	修正周波数変調記録 · · · · · · · 551
サーマルプリンタ・・・・・・・・・・439	集積回路 · · · · · · 59
サーマルワックス転写・・・・・・・・・・440	周波数遷移変調
酸化物メディア・・・・・・・・・・・621	周波数分周回路 · · · · · · · 218
残光388	周波数変調・・・・・・・503, 507
残磁性549	周波数変調記録 · · · · · · 551
30	周辺回路37
9 m	ジュークボックス712
シェアウェア・・・・・・512	ジュークボックスシステム・・・・・・705
ジェスチャ・・・・・・312	巡回冗長検査・・・・・・201,513
シェル・・・・・・593	順次方式556
紫外線 · · · · · · 411	ジョイスティック・・・・・・・309
紫外線放射 · · · · · · 413	上位側波带 · · · · · · 505
磁気記憶装置 · · · · · · 546, 547	昇華型プリンタ 438
色素ポリマー型記憶装置698	消去書き込み可能読み出し専用メモリ・・・・・・・113
ジグザグインラインピンパッケージ・・・・・133	常駐プログラム198
シークタイム・・・・・・・667	冗長書き込み・・・・・・725
シグナルグランド・・・・・・・489	ショートカード・・・・・・・173
シーケンシャルアクセス・・・・・・556	シリアル通信のトラブル診断 495
シーケンシャルメディア・・・・・・556	シリアルハードウェア・・・・・・・482
シザリング・・・・・・378	シリアルポートの I/O アドレス · · · · · · 483, 531
指数89	シリアルポートのコネクタ・・・・・・・486
システムクロック 217	シリアルポートの信号
システムサポートゲートアレイ218	キャリア検出信号 490,532
システム識別バイト202	送信可信号 490
システムフラグ・・・・・・・125	送信要求信号 490
システムボード・・・・・・・35	データキャリア検出信号 490
システムボードの電源・・・・・・・244	データセットレディ信号490,532
システムボードメーカー・・・・・・39	データ端末レディ信号・・・・・・490
システムマネージメントインタラプト・・・・・・74	リングインジケータ信号490
システムレベルのインターフェイス570	シリアルポートのピン配列・・・・・・・488
磁性体	シリアルポートのレジスタ・・・・・・484
磁性物質547	ディバイザラッチレジスタ484
自然対流方式274	シリアルポートの割り込み486

シリアルマウス307
シリアルラインドライバ483
シリーズレギュレータ・・・・・・234
シリンダ・・・・・・627
シリンダ数の限界629
シリンダスキュー・・・・・・・671
真空管 · · · · · · 57, 383
シンクオングリーン・・・・・・・・408
シングルインラインパッケージ・・・・・・・609
シングルインラインピンパッケージ・・・・・132
シングルインラインピンパッケージモジュール・・・・・138
シングルインラインメモリモジュール・・・・・138
シングルボードコンピュータ・・・・・・・21,33
シングルボードマイクロコンピュータ・・・・・・26
診断符号モジュール・・・・・・210
振幅変調507
シンブル・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・435
シンブルプリンタ
227707927433
ス
全 直インターバル・・・・・・・・・・・329
垂直帰線期間・・・・・・353
and the state of t
垂直周波数
垂直タブ・・・・・・・464
垂直同期周波数
垂直リトレース
スイッチステーション・・・・・・・291
スイッチング電源
スイッチングモデム・・・・・・510
水平走査速度・・・・・・401
水平タブ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
水平同期周波数
水平リトレース・・・・・・・328
数値演算コプロセッサ・・・・・・89
スカート (拡張ボードの)173
スキャンコード・・・・・・・・295
スクリーンピッチ391
スケーラブルフォント・・・・・・・・455
スタティックカラム RAM · · · · · · 117, 133
スタティックメモリ111
スタートビット・・・・・・・・・・・480
スタンバイモード
SL チップの~・・・・・79
ステッパモータ 599
ステップサイズ 472
ストップビット
ストリーマテープ・・・・・・727
ストリーミングデータプロトコル
マイクロチャネルの~167
ストリーミングデータモード
マイクロチャネルの~

ストレートスルーケーブル・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	531, 607
ストローカー・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
スヌーピング機能	
キャッシュコントローラの~	120
Z/	
スパイク・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
スーパースカラー・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
スーパーツイスト・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
スーパーツイストネマティックディスプレイ······ スーパーピクセル····································	
スピンドル・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
スピンドルモータ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
スピンドルモータのオン/オフ	
スプライト・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
スプールテープ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	\cdots 727
スペーサー	
マザーボードの~・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
スペースパリティ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	481
スペース変調・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	508
スマートターミナル・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	317
スマートプリンタ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	463
スライディングシールド・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	597
スラッシング・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
スレッド・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
スレーブドライブ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
スロットピッチ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
X11/1C//	031
†	
制御ケーブル・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	677
	077
制御装置 マイクロプロセッサの~	C1
マイクロプロセッサの~ 静電容量	
静電容量検出式キーボード・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
整流式変換器	
セカンダリキャッシュ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	120
L 7 7	
セクタ 558,	628, 629
セクタ ID マーク・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	628, 629 ·····559
	628, 629 ·····559
セクタ ID マーク · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	628, 629 559 670 582
セクタ ID マーク・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	628, 629 559 670 582
セクタ ID マーク・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	628, 629 559 670 582 595
セクタ ID マーク・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	628, 629 559 670 582 595
セクタ ID マーク・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	628, 629 ···· 559 ···· 670 ··· 582 ··· 595
セクタ ID マーク・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	628, 629 559 582 595 595
セクタ ID マーク・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	628, 629 ···· 559 ···· 670 ··· 582 ··· 595 ··· 70 ··· 65 ··· 290
セクタ ID マーク・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	628, 629 559 582 595 70 65 290 489
セクタ ID マーク セクタインターリーブ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	628, 629 559 582 595 70 65 290 489
セクタ ID マーク・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	628, 629 559 670 582 595 70 65 290 489 119
セクタ ID マーク・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	628, 629 559 670 582 595 70 65 290 489 119
セクタ ID マーク・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	628, 629 559 670 582 595 70 65 290 489 119
セクタ ID マーク・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	628, 629 559 582 595 70 65 290 119 180 409 506
セクタ ID マーク・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	628, 629 559 582 595 70 65 290 180 180 409 180 180

穿孔カード・・・・・・709	ダイレクトカラー・・・・・・・379
穿孔紙テープ・・・・・・・709	ダイレクトカラーモード・・・・・・330
全デジタルダイヤルアップ通信······517	ダイレクトドライブモニタ・・・・・・・349
セントロニクス	ダイレクトマッピング・・・・・・326
全二重通信・・・・・・506	ダイレクトマップキャッシュ・・・・・・119
専用回線モデム・・・・・・・510	グウンロード文字セット・・・・・・・・・458
専用バス・・・・・・・・・・34	タグ
専用メモリボード・・・・・・・121	・ キャッシュラインの~ · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
専用ローカルバス・・・・・・・121	ターゲット
染料拡散プリンタ · · · · · · 441	ターケット VLバスの~・・・・・・187
※料拡取/リング・・・・・・・・・・・・・・・・・441	拡張バスの~・・・・・・・146
y	払張/スの~
装置搭載キャッシュ ・・・・・・ 582	多重化
装置フラグ・・・・・・203	多重化ストリーミングデータモード
挿入キー・・・・・598	マイクロチャネルの~・・・・・・168
增幅器	多重キャリアモデム・・・・・・511
相変化型記憶装置 · · · · · 698	多重送信装置505
双方向印字方式 · · · · · 437	タッチスクリーン・・・・・・311
双方向トラクタ462	縦横比395
属性	タプル・・・・・189
キャラクタの~ 28	ダブルクリック・・・・・・302
属性バイト・・・・・・319	ダブルスキャン CGA・・・・・・357
側波帯・・・・・・504	ダブルスーパーツイスト・・・・・・398
ソケット	ダブルスーパーツイストネマティックディスプレイ ···· 399
メモリの~・・・・・・137	ダブルワード・・・・・・110
外付けハードディスク・・・・・・・665	ターミネーション・・・・・・・・・・・・・・・・・407
外付けモデム530	ターミネータ・・・・・・679
ソフトウェア EMS128	ターミネータ抵抗ネットワーク609
ソフトウェアキャッシュ 581-583	ダムターミナル・・・・・・・317
ソフトウェアハンドシェイク・・・・・・・・・・・・・・・・485, 494	ダムプリンタ・・・・・・・463
ソフトウェアプリンタシェアリング・・・・・・・467	ダムフレームバッファ・・・・・・334
ソフトウェア割り込み194, 198, 223	タワー型ケース・・・・・・・266
ソフトエラー	短距離モデム・・・・・・504
メモリの~・・・・・・140	単側波帯変調505
ソフトセクタ方式 595	単電子銃
ソフトフォント	単方向トラクタ 462
ソリッドステート	単密度記録551
損失圧縮・・・・・・・554	181
損失圧縮システム・・・・・・・554	子 "
ゾーンビット記録方式・・・・・・・558	遅延書き込み・・・・・・585
1.15.65.135	蓄電池・・・・・・・・・・・・・・・・・239
タ	チクレット・・・・・・292
帯域幅・・・・・・・・・・・392, 402, 504	チップセット・・・・・・・215
帯域幅の制限・・・・・・・505	中央アービトレーション制御点169
ダイディフュージョン・・・・・・・・・・・・・・・・・・434	中央演算装置・・・・・・・・・・・・・・・・・・61
ダイディフュージョンプリンタ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	中継器・・・・・・505
ダイナミックメモリ111	チューリップホイール・・・・・・・・435
917 2	超画素
タイミング回路・・・・・・・・・・・・216	超高密度ディスク・・・・・・・592
ダイヤルアップモデム・・・・・・・510	超高密度ドライブ・・・・・・・・・・・600
ダイヤル呼び出しモデム・・・・・・・・510	調停
大容量記憶装置 · · · · · · · 109	バスの~146
ACT AND THE PROPERTY OF THE PR	

調停機能付き拡張バス・・・・・・146	データ端末装置 487
超低周波 · · · · · · 411	データ通信装置 487
調歩式テープ操作・・・・・・727	データ転送速度 619
直結型モデム・・・・・・529	データの符号化 · · · · · · 551
直交変調・・・・・・507	データバス・・・・・・・62
	データピット・・・・・・690
9	デバイスレベルのインターフェイス563
ツイストケーブル・・・・・・・・・678	テープ・・・・・・・707
ツイストネマティック・・・・・・399	テープのコスト・・・・・・730
通信モード・・・・・・・519	デュアルアクチュエータドライブ・・・・・・・・626
	デュアルインラインピンパッケージ・・・・・・132,609
テ	デュアルトーン変調周波数529
低価格ディスクの冗長連結・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・660	デュアルモード・・・・・・・519
ディザ法440	デュプレックス・・・・・・506
ディジーチェーン677	テレタイプインターフェイス · · · · · · 22
デイジーホイールコマンド・・・・・・・・・・・447	テレタイプ出力 317
ディジーホイールプリンタ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・435	テレタイプディスプレイ · · · · · · · 28, 318
低周波数放射······283	電圧レギュレータ
低水準言語 · · · · · · · 55	電源の効率・・・・・・236
ディスク回復のためのフォーマット684	電源のノイズ・・・・・・247
ディスクキャッシュ・・・・・・・・・・・671	電子エミッタ・・・・・・・328
ディスクコントローラ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	電子鏡 · · · · · · · 383, 389
ディスクの管理 611	テンショニングワイヤ・・・・・・391
ディスクのジオメトリ627	転送速度581
ディスクパラメータ627	電力効率250
ディスクユーティリティ・・・・・・・・605	
ディスクリートチップ・・・・・・・131, 132	K
	・ ドイツ電気技術者連合・・・・・・253
ディスクリートチップ・・・・・・131, 132 ディスケット・・・・・592	・ ドイツ電気技術者連合・・・・・・253 同期回路・・・・・216
ディスクリートチップ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	・ ドイツ電気技術者連合・・・・・253 同期回路・・・・・216 同期式モータ・・・・・618
ディスクリートチップ・・・・・・131, 132 ディスケット・・・・・592	ドイツ電気技術者連合 253 同期回路 216 同期式モータ 618 同期式モデム -530
ディスクリートチップ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	・ ドイツ電気技術者連合・・・・・253 同期回路・・・・・216 同期式モータ・・・・・618
ディスクリートチップ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	ドイツ電気技術者連合 253 同期回路 216 同期式モータ 618 同期式モデム -530
ディスクリートチップ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	ドイツ電気技術者連合 253 同期回路 216 同期式モータ 618 同期式モデム 530 同期信号 329
ディスクリートチップ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	ドイツ電気技術者連合 253 同期回路 216 同期式モータ 618 同期式モデム 530 同期信号 329 同期通信 480
ディスクリートチップ 131, 132 ディスケット 592 ディスプレイ 383 ディスプレイ PostScript 455 ディスプレイシステム 27 ディスプレイの解像度 325 ディスプレイリストメモリ 341 低電圧 247	ドイツ電気技術者連合 253 同期回路 216 同期式モータ 618 同期式モデム 530 同期信号 329 同期通信 480 同期伝送 530 同期動作 バスの~ 147
ディスクリートチップ 131, 132 ディスケット 592 ディスプレイ 383 ディスプレイ PostScript 455 ディスプレイシステム 27 ディスプレイの解像度 325 ディスプレイリストメモリ 341 低電圧 247 低電圧保護 248	ドイツ電気技術者連合 253 同期回路 216 同期式モータ 618 同期式モデム 530 同期信号 329 同期通信 480 同期伝送 530 同期動作 バスの~ 147 統計的二重化 515
ディスクリートチップ 131, 132 ディスケット 592 ディスプレイ 383 ディスプレイ PostScript 455 ディスプレイシステム 27 ディスプレイの解像度 325 ディスプレイリストメモリ 341 低電圧 247 低電上保護 248 低電力マイクロプロセッサ 66	ドイツ電気技術者連合 253 同期回路 216 同期式モータ 618 同期式モデム 530 同期信号 329 同期通信 480 同期伝送 530 同期動作 バスの~ 147
ディスクリートチップ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	ドイツ電気技術者連合 253 同期回路 216 同期式モータ 618 同期式モデム 530 同期信号 329 同期通信 480 同期伝送 530 同期動作 バスの~ 147 統計的二重化 515
ディスクリートチップ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	ドイツ電気技術者連合 253 同期回路 216 同期式モータ 618 同期式モデム 530 同期信号 329 同期通信 480 同期公送 530 同期動作 バスの~ 147 統計的二重化 515 統合化ドライブ回路 562
ディスクリートチップ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	ドイツ電気技術者連合 253 同期回路 216 同期式モータ 618 同期式モデム 530 同期信号 329 同期通信 480 同期伝送 530 同期断作 バスの~ 147 統計的二重化 515 統合化ドライブ回路 562 等線速度記録方式 628
ディスクリートチップ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	ドイツ電気技術者連合 253 同期回路 216 同期式モータ 618 同期式モデム 530 同期信号 329 同期通信 480 同期伝送 530 同期動作 バスの〜 がまか 147 統計的二重化 515 統合化ドライブ回路 562 等線速度記録方式 628 トゥルーカラー 326, 330
ディスクリートチップ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	ドイツ電気技術者連合 253 同期回路 216 同期式モータ 618 同期式モデム 530 同期信号 329 同期通信 480 同期伝送 530 同期動作 バスの〜 147 統計的二重化 515 統合化ドライブ回路 562 等線速度記録方式 628 トゥルーカラー 326, 330 独自のバス 34
ディスクリートチップ 131, 132 ディスケット 592 ディスプレイ 383 ディスプレイ PostScript 455 ディスプレイシステム 27 ディスプレイの解像度 325 ディスプレイリストメモリ 341 低電圧 247 低電工保護 248 低電力マイクロプロセッサ 66 低レベルフォーマット 550 テキストスピード 468 デジタルーアナログコンバータ 330 デジタルオーディオテープ 724, 725 デジタル磁気システム 547 デジタル式調整のまみ 396	ドイツ電気技術者連合 253 同期回路 216 同期式モータ 618 同期式モデム 530 同期信号 329 同期通信 480 同期伝送 530 同期動作 バスの〜 147 統計的二重化 515 統合化ドライブ回路 562 等線速度記録方式 628 トゥルーカラー 326, 330 独自のバス 34 特定用途向け IC 215
ディスクリートチップ 131, 132 ディスケット 592 ディスプレイ 383 ディスプレイ PostScript 455 ディスプレイシステム 27 ディスプレイの解像度 325 ディスプレイリストメモリ 341 低電圧 247 低電圧保護 248 低電力マイクロプロセッサ 66 低レベルフォーマット 550 テキストスピード 468 デジタルーアナログコンバータ 330 デジタルオーディオテープ 724, 725 デジタル磁気システム 547 デジタル式調整のまみ 396 デジタルディスプレイ 329	ドイツ電気技術者連合 253 同期回路 216 同期式モータ 618 同期式モデム 530 同期信号 329 同期通信 480 同期伝送 530 同期動作 バスの〜 147 統計的二重化 515 統合化ドライブ回路 562 等線速度記録方式 628 トゥルーカラー 326, 330 独自のバス 34 特定用途向け IC 215 ドーターボード 35 拡張メモリの〜 121 ドット 324
ディスクリートチップ 131, 132 ディスケット 592 ディスプレイ 383 ディスプレイ PostScript 455 ディスプレイシステム 27 ディスプレイの解像度 325 ディスプレイリストメモリ 341 低電圧 247 低電圧保護 248 低をプタイクロプロセッサ 66 低レベルフォーマット 550 テキストスピード 468 デジタルーアナログコンバータ 330 デジタルオーディオテープ 724, 725 デジタル磁気システム 547 デジタルで対タル式調整のまみ 396 デジタルディスプレイ 329 デジタルデバイス 58	ドイツ電気技術者連合 253 同期回路 216 同期式モータ 618 同期式モデム 530 同期信号 329 同期通信 480 同期低送 530 同期動作 バスの〜 147 統計的二重化 515 統合化ドライブ回路 562 等線速度記録方式 628 トゥルーカラー 326, 330 独自のバス 34 特定用途向け IC 215 ドーターボード 35 拡張メモリの〜 121 ドット 324 ドットアドレッサブルグラフィックス 444
ディスクリートチップ 131, 132 ディスケット 592 ディスプレイ 383 ディスプレイ PostScript 455 ディスプレイシステム 27 ディスプレイリストメモリ 341 低電圧 247 低電上保護 248 低電力マイクロプロセッサ 66 低レベルフォーマット 550 テキストスピード 468 デジタルーアナログコンバータ 330 デジタルオーディオテープ 724, 725 デジタル式調整のまみ 396 デジタルディスプレイ 329 デジタルデバイス 58 デジタルマイクロプロセッサプロッタ言語 473	ドイツ電気技術者連合 253 同期回路 216 同期式モータ 618 同期式モデム 530 同期信号 329 同期通信 480 同期所作 バスの〜 がまかして重化 515 統合化ドライブ回路 562 等線速度記録方式 628 トゥルーカラー 326, 330 独自のバス 34 特定用途向け IC 215 ドーターボード 35 拡張メモリの〜 121 ドット 324 ドットアドレッサブルグラフィックス 444 ドットグラフィックス 444
ディスクリートチップ 131, 132 ディスケット 592 ディスプレイ 383 ディスプレイ PostScript 455 ディスプレイシステム 27 ディスプレイの解像度 325 ディスプレイリストメモリ 341 低電圧 247 低電圧保護 248 低電力マイクロプロセッサ 66 低レベルフォーマット 550 テキストスピード 468 デジタルーアナログコンバータ 330 デジタルオーディオテープ 724, 725 デジタル式調整のまみ 396 デジタルディスプレイ 329 デジタルディスプレイ 329 デジタルディスプレイ 329 デジタルマイクロプロセッサプロッタ言語 473 デジタルモニタ 349 デスクトップコンピュータの電源 242 データ圧縮 511, 538, 553	ドイツ電気技術者連合 253 同期回路 216 同期式モータ 618 同期式モデム 530 同期信号 329 同期通信 480 同期伝送 530 同期動作 バスの~ が着計的二重化 515 統合化ドライブ回路 562 等線速度記録方式 628 トゥルーカラー 326, 330 独自のバス 34 特定用途向け IC 215 ドーターボード 35 拡張メモリの~ 121 ドット 324 ドットアドレッサブルグラフィックス 444 ドットグラフィックス 444 ドットクロック 403
ディスクリートチップ 131, 132 ディスケット 592 ディスプレイ 383 ディスプレイ PostScript 455 ディスプレイシステム 27 ディスプレイリストメモリ 341 低電圧 247 低電上保護 248 低電力マイクロプロセッサ 66 低レベルフォーマット 550 テキストスピード 468 デジタルーアナログコンバータ 330 デジタルオーディオテープ 724, 725 デジタル磁気システム 547 デジタル式調整のまみ 396 デジタルディスプレイ 329 デジタルデバイス 58 デジタルマイクロプロセッサプロッタ言語 473 デジタルモニタ 349 デスクトップコンピュータの電源 242	ドイツ電気技術者連合 253 同期回路 216 同期式モータ 618 同期式モデム 530 同期信号 329 同期通信 480 同期伝送 530 同期か作 バスの~ 147 統計的二重化 515 統合化ドライブ回路 562 等線速度記録方式 628 トゥルーカラー 326, 330 独自のバス 34 特定用途向け IC 215 ドーターボード 35 拡張メモリの~ 121 ドット アドレッサブルグラフィックス 444 ドットグラフィックス 444 ドットグラフィックス 444
ディスクリートチップ 131, 132 ディスケット 592 ディスプレイ 383 ディスプレイ PostScript 455 ディスプレイシステム 27 ディスプレイの解像度 325 ディスプレイリストメモリ 341 低電圧 247 低電圧保護 248 低電力マイクロプロセッサ 66 低レベルフォーマット 550 テキストスピード 468 デジタルーアナログコンバータ 330 デジタルオーディオテープ 724, 725 デジタル式調整のまみ 396 デジタルディスプレイ 329 デジタルディスプレイ 329 デジタルディスプレイ 329 デジタルマイクロプロセッサプロッタ言語 473 デジタルモニタ 349 デスクトップコンピュータの電源 242 データ圧縮 511, 538, 553	ドイツ電気技術者連合 253 同期回路 216 同期式モータ 618 同期式モデム 530 同期信号 329 同期通信 480 同期伝送 530 同期動作 747 統計的二重化 515 統合化ドライブ回路 562 等線速度記録方式 628 トゥルーカラー 326, 330 独自のバス 34 特定用途向け IC 215 ドーターボード 35 拡張メモリの~ 121 ドット アドレッサブルグラフィックス 444 ドットグラフィックス 444 ドットグラフィックス 444 ドットグラフィックス 444 ドットグラフィックス 444 ドットグラフィックス 444
ディスクリートチップ 131, 132 ディスケット 592 ディスプレイ 383 ディスプレイ PostScript 455 ディスプレイシステム 27 ディスプレイの解像度 325 ディスプレイリストメモリ 341 低電圧 247 低電工保護 248 低電力マイクロプロセッサ 66 低レベルフォーマット 550 テキストスピード 468 デジタルーアナログコンバータ 330 デジタルオーディオテープ 724, 725 デジタル磁気システム 547 デジタル式調整つまみ 396 デジタルディスプレイ 329 デジタルディスプレイ 329 デジタルマイクロプロセッサプロッタ言語 473 デジタルモニタ 349 デスクトップコンピュータの電源 242 データモキャッシュ 120	ドイツ電気技術者連合 253 同期回路 216 同期式モータ 618 同期式モデム 530 同期信号 329 同期通信 480 同期伝送 530 同期か作 バスの~ 147 統計的二重化 515 統合化ドライブ回路 562 等線速度記録方式 628 トゥルーカラー 326, 330 独自のバス 34 特定用途向け IC 215 ドーターボード 35 拡張メモリの~ 121 ドット アドレッサブルグラフィックス 444 ドットグラフィックス 444 ドットグラフィックス 444

ドーピング	ニッケル水素電池・・・・・・239
半導体の~・・・・・・58	ニブル・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・25, 110
ドボラーク/ディーレイ式文字配列293	日本語 106 キーボード・・・・・・294
トライアック・・・・・・234	日本電子工業開発協会 · · · · · · 189
トライアド・・・・・・386	ニーモニック・・・・・・・55
トライプアレイ・・・・・・・659	入出力装置
ドライブアレイの冗長性と信頼性・・・・・・・660	マイクロプロセッサの~ 61
ドライブ選択ジャンパスイッチ 606, 677	
ドライブ動作インジケータ・・・・・・682	ヌ
ドライブ取り付けレール・・・・・270	ヌルモデム・・・・・・・494
ドライブの厚さ	
ドライブのジオメトリ・・・・・・・627	ネ
ドライブハブ593	熱転写434
ドライブベイ・・・・・・262	ネットワークアプリケーション・・・・・・・660
トラクタフィード・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	ネットワークサーバ・・・・・・・・659
トラック・・・・・・・・・557, 627	ネマティック・・・・・・398
ドラッグ・・・・・・302	The second section is a
トラック間シークタイム・・・・・・・667	1
トラックバッファ・・・・・・671	ノイズフィルタ248
トラックボール・・・・・・290, 309	ノートマシンのキーボード・・・・・・265
ドラッグ/ロック機能309	ノンインパクト・・・・・・・・・・・・・・・・・・434
ドラム式プロッタ・・・・・・・・・・・・471	ノンインパクトビットイメージプリンタ・・・・・・・439
トランジスタ・・・・・・58	ノンインパクトプリンタ・・・・・・・433
トランジスタートランジスタロジック	330
	/\
トランス237, 238	バイト・・・・・109
トランスレーションモード・・・・・・560,629	倍密度記録・・・・・・・551, 592
トリクル充電・・・・・・239, 241	倍密度フロッピーディスクヘッド・・・・・596
トリニトロン390	ハイレベルグラフィックコマンド・・・・・・335
トリプルスーパーツイスト・・・・・398	バインダー・・・・・709
トリプルスーパーツイストネマティックディスプレイ・・・・399	パーク&ロック機能・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
トリプレット・・・・・・386	薄膜トランジスタ・・・・・・399
トレリス変調・・・・・・516	薄膜メディア・・・・・・621
ドロップアウト・・・・・・725	バス
100000	マイクロプロセッサの~・・・・・・・62
<i>+</i>	バスアービトレーション・・・・・・146
内蔵型ハードディスク・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・663	マイクロチャネルの~・・・・・163
内蔵型ビデオ・・・・・・363	バスインターフェイスユニット
内蔵モデム・・・・・・530	数値演算コプロセッサの~ 97
ナノプロセッサ51	バス型コンピュータ・・・・・・33
鉛蓄電池 · · · · · · · 239	バスクロック
軟 X 線 ······ 411	EISA Ø~176
	バスサイクル・・・・・・146
	バススヌーパー・・・・・・75
二次記憶装置109	バススヌーピング・・・・・・75
二次キャッシュ・・・・・・120	バススレーブ・・・・・・146
二次元記録システム557	バスデータ幅の変換175
二次電池・・・・・・239	バーストモード
二重通信 · · · · · · · 506	EISA ∅~176
二重バス・・・・・・147	マイクロチャネルの~・・・・・・165
ニッカド電池・・・・・・239	バーストモード転送
ニッケル・カドミウム電池239	EISA Ø~175

バスの共用・・・・・・155	ハードディスクのデータ転送速度619,668
バスマウス・・・・・・308	ハードディスクの電源ケーブル675
バスマスタ・・・・・・・・・・・・・・・・146, 156, 168, 178, 379	ハードディスクのパラメータ63]
VLバスの~·····187	ハードディスクのフォーマット 683
バスマスタパラレルポート・・・・・・・430	ハードディスクの容量・・・・・・・・・672
バッキング・・・・・・709	ハードディスクヘッドのクラッシュ・・・・・・・622
バックアップ計画731	ハードディスクユーティリティソフト550
バックアップソフトウェア・・・・・・729	ハードワイヤードロジック・・・・・・・52, 102
バックアッププログラム・・・・・・・・605	パフォーマンスエンハンスメントソケット80
バックプレーン・・・・・・・36	ハブクランプ・・・・・・593
アクティブ~・・・・・・36	ハーフハイトドライブ・・・・・・268
パッシブ~ 36	ハブホール・・・・・・・593
バックポーチ・・・・・・329	ハブリング・・・・・・593
バックライト LCD398	パラレルケーブル・・・・・・・・427
パッケージ	パラレル伝送・・・・・・423
387 Ø~ · · · · · 99	パラレルポート
486SX ∅~100	I/O ポート · · · · · · 425
発光ダイオード・・・・・・397, 440	アクノリッジライン・・・・・・・428
パッシブマトリックス・・・・・・399	オートフィード XT ライン・・・・・・・429
バッテリ 237, 238	片方向424
バッテリチャージャ・・・・・・237	コネクタ・・・・・・424
バッファ	信号と接続・・・・・・・・・・・・・・・・・・426
拡張バスの~・・・・・146	ストローブライン・・・・・・・・・・427
パーティション・・・・・・・561, 630, 685	性能429
ハードウェアウィンドウイング・・・・・・・336	セレクト入力ライン・・・・・・・429
ハードウェアキャッシュ・・・・・・・ 581, 582	セレクトライン・・・・・・・・・428
ハードウェアの直接制御・・・・・・195	双方向 · · · · · · · 424
ハードウェアパニング・・・・・・・337	データライン 427
ハードウェアハンドシェイク・・・・・・・・・485	ビジーライン 427
ハードウェアプリンタシェアリング・・・・・・・467	フィードバック・・・・・・・・・・・・・・・・・・・428
ハードウェア割り込み・・・・・・・223	フォルトライン・・・・・・・・428
ハードエラー	ペーパーエンプティライン428
メモリの~・・・・・・140	バリスタ・・・・・・248
ハードコンタクトキーボード・・・・・・・290, 291	パリティエラー・・・・・・150, 662
ハードセクタ方式・・・・・・ 594	拡張ボード上メモリの~・・・・・・115
ハードディスク	マザーボード上メモリの~・・・・・・115
ハードディスクカード・・・・・・・・・666	メモリの~・・・・・141
ハードディスクコントローラ・・・・・・・・673	パリティチェック115, 133, 662
ハードディスクドライブの機構・・・・・・・618	パリティチェックビット・・・・・・26, 115
ハードディスクドライブの信頼性673	パリティドライブ・・・・・・・・・・663
ハードディスクドライブのパッケージ・・・・・・663	パリティなし・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・481
ハードディスクの BIOS	パリティビット・・・・・・・・25, 140, 480
ハードディスクのアドレス限界630	パルス幅変調・・・・・・・234
ハードディスクのインストール・・・・・・・・675	パレット
ハードディスクの回転・・・・・・・・・・618	パワーオンセルフテスト・・・・・・・141, 200
ハードディスクのケーブル・・・・・・673	パワーブリック・・・・・・・・・・237
ハードディスクの互換性・・・・・・・・672	パワーマネージメント回路・・・・・・74
ハードディスクのジオメトリ627	SuperMathDX シリーズの~・・・・・102
ハードディスクの消費電力・・・・・・・・・664	バンク
ハードディスクの制御回路・・・・・・・561	メモリモジュールの~・・・・・・139
ハードディスクの性能・・・・・・・・・・・・667, 672	バンク切り換え・・・・・・128,325
ハードディスクのセットアップ・・・・・・・・681	バンクメモリ・・・・・・・118

反射型 LCD······398	ヒューズ
搬送波	PROM Ø~113
バーンディコネクタ · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	描画コマンド・・・・・・・336
半導体・・・・・・・・・・・58	標準規格
半導体電圧レギュレータ・・・・・・・249	表面実装
ハンドシェイク・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	ピンインホール実装
バンドステッパ・・・・・・625	ピングリッドアレイソケット
	ピンジャック
バンドステッパアクチュエータ・・・・・・・・・625	
半二重506	ヒンテッドフォント・・・・・・・・・・・・457
半二重通信	ピンフィード・・・・・・・・462
汎用非同期送受信器 · · · · · · 482	7
L	フ
	ファイル・・・・・・・・・・560
非意図的放射体	ファイル圧縮・・・・・・512
ピエゾ圧電素子 437	ファイルアロケーションテーブル・・・・・561, 611, 630, 699
光磁気型記憶装置 699	ファイル単位のバックアップ730
光磁気記憶システム549	ファイル転送プロトコル・・・・・・510
ピクセル・・・・・・324, 386	ファクシミリ伝送536
ピクセルブロック転送377	ファン・・・・・・・275
非磁性物質547	フィールド・・・・・・・・・・・・・・・・・・・402
非対称モデム・・・・・・・510,511	フェイス・・・・・・383
ビット・・・・・・109	フェーズチェンジプリンタ・・・・・・・・・・・438
ピット 690, 692	フェノール樹脂基板38
ビットイメージグラフィックス・・・・・・・・・443,444	フェロ共鳴トランス248
ビットイメージプリンタ・・・・・・・436	フェロ共鳴トランスレギュレータ249
ビット速度・・・・・・481	フォーマット・・・・・・・・683
ビットブロック転送335	フォームファクタ267
ビットマップグラフィックス・・・・・・324	フォールトトレラント・・・・・・・・・・・・660,663
ビットマップフォント・・・・・・・・456	フォールバック・・・・・・511,538
ヒット率・・・・・・584	フォント・・・・・・・・・・456
ビデオインプット・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	記憶と検索・・・・・・・・・・・・・・・・457
ビデオグラフィックスアレイ・・・・・・363	フォントカートリッジ・・・・・・・・・・458
ビデオコントローラ・・・・・・・327	フォントフォーマット・・・・・・・・459
ビデオ装置フラグ・・・・・・・319	複数ドライブの接続・・・・・・・679
ビデオ増幅器・・・・・・・・400	復調
ビデオターミナル・・・・・・・317	符号
ビデオデータ端末・・・・・・・317	浮動小数点数の~
ビデオノイズ353	7ック・・・・・・・338
ビデオページ・・・・・・320	プッシュトラクタ・・・・・・・・462
ビデオメモリ	プッシュホン式ダイヤル信号529
ビデオモードフラグ・・・・・・・319	物理メモリ
非同期拡張バス 147	386 <i>⊙</i> ~
非同期式モデム・・・・・・ 529	浮動小数点演算ユニット・・・・・・89,97
非同期通信・・・・・・・480	浮動小数点数
非同期伝送・・・・・・・530	プライマリキャッシュ・・・・・・120
非同期動作	ブラウン管・・・・・・328
バスの~	プラズマスクリーン・・・・・・398
非同期モード動作	ブラックレベル・・・・・・329
マイクロプロセッサの~・・・・・・75	フラッシュRAM · · · · · · · · 114
ヒートシンク	フラッシュメモリ
非破壊低レベルフォーマット・・・・・・ 550	プラッタ・・・・・・・・・・616, 618
	プラッタの構造620

フラットテンションマスク・・・・・・・・・・・・・・・・・392	フロッピーディスクインターフェイス563
フラットパネルディスプレイ · · · · · · · · 328	フロッピーディスクコントローラ・・・・・・・・・・・・601
フラットパネルディスプレイシステム‥‥‥‥397	フロッピーディスクドライブ599
フラットベッド・・・・・・・・・・・471	フロッピーディスクのサイズ592
プラテン・・・・・・・461	フロッピーディスクのフォーマットの互換性603
ブランキング・・・・・・328	フロッピードライブのケーブル・・・・・・・・・606,607
プリアンブルバイト・・・・・・201	フロッピードライブのコネクタ566
フリクションフィード・・・・・・・・・・・461	フロッピードライブの信号
フリッカ・・・・・・・352, 388	インデックス信号602
フリッピーディスク・・・・・・597	書き込み許可信号564
フリップトップ式ケース・・・・・・・266	サイドセレクト信号564,602
プリフェッチキャッシュメモリ70	ステップパルス信号564,602
不良セクタ・・・・・・684	ディレクション信号・・・・・・・602
不良トラック・・・・・・684	ドライブ A 選択信号 · · · · · · · · · · 564, 601, 602
不良バンク	ドライブ B 選択信号・・・・・・・・564, 601, 602
メモリの~・・・・・・141	トラック 0 信号・・・・・・・・・・・・・・・602
プリンタ 317, 431	ライトイネーブル信号・・・・・・・602
プリンタケーブル・・・・・・・・・・・・・・・・・・424, 469	ライトデータ信号602
プリンタのイニシャライズ・・・・・・・・429	ライトプロテクト信号602
プリンタの共有 466	リードデータ信号602
プリンタの互換性 468	フロッピードライブの転送速度 602
プリンタの消耗品469	フローティングコネクタ・・・・・・・273
プリンタの速度 468	プロテクトモード・・・・・・・・68,71,126
プリンタリボン・・・・・・・465	プロテクトモード OS · · · · · · · · · 129
プリント回路基板38	プロテクトモードオペレーティングシステム · · · · · · 125
プリントヘッド・・・・・・・436	フロプティカル記憶装置706
プリントワイヤ・・・・・・・436, 442	フロントポーチ・・・・・・329
フルアソシエイティブキャッシュ・・・・・・119	分散型多重処理171
ブルズアイジャック406	分離型キーボード29
プルトラクタ・・・・・・462	分離型ディスプレイアダプタ363
フルハイトドライブ・・・・・・・268	
プレイナーボード・・・・・・36	^
ブレークアウトボックス・・・・・・・・495	平均アクセス時間667
フレーム 402, 481	平均故障時間673
フレームグランド489	平均シークタイム668
フレーム周波数 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 401	平均遅延時間667
フレームバッファ 324	並行書き込み方式・・・・・・ 585
フレームレート 329	並行記録方式727
プログラマブルオプションセレクト209	米国 IC カード推進協会・・・・・189
プログラマブルオプション選択	米国規格協会
マイクロチャネルの~・・・・・・163	米国食品医薬品局 · · · · · · 412
プログラミング言語27, 54	ヘイズ応答コード528
フロー制御・・・・・・485	ヘイズ互換モデム
ブロック間ギャップ710	ヘイズコマンド・・・・・・519
プロックグラフィックス · · · · · 322, 443	ヘイズモデムの S レジスタ · · · · · · · 523
プロッタ 431, 470	平面プロッタ・・・・・・・471
プロッタ制御言語	閉ループ型・・・・・・・624
プロッタのインターフェイス・・・・・・・・・472	ベクトルグラフィックス ····································
プロッタの解像度	ページ記述言語・・・・・・454 ページプリンタ・・・・・・・・・・442
プロッタのカラー	ページャリンタ
プロッタの性能・・・・・・・・・・473 フロッピーディスク・・・・・・591	ベーンモート RAM111, 116, 133
/ ロッヒーフィスク · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~

ベッド・・・・・・・・・・・・・・・・・・・471	アービトレーション/許可信号 · · · · · · · · 169
ヘッドアクセス穴・・・・・・595	アービトレーションバス優先レベル169
ヘッドアクチュエータ 599, 624	オーディオ信号162
ヘッドインデクシング・・・・・・・600	カードセットアップライン164
ヘッドのクラッシュ・・・・・・・622	カード選択フィードバック信号164
ヘッドパーキング・・・・・・・626	カードデータサイズ 16 信号
ペーパーホワイト・・・・・・・387	カードデータサイズ 32 信号165
ヘリカルスキャンシステム・・・・・・724	水平垂直同期信号163
ペル・・・・・・・・・・・・・・・・・・・386	チャネルチェックライン・・・・・・164
ベルヌーイドライブ・・・・・・・・・・・・・・・・・617	チャネルレディライン・・・・・・164
ペンオペレーティングシステム · · · · · · 312	チャネルレディリターン信号164
偏光394	データサイズ 16 リターン信号165
ペンコンピューティング・・・・・・312	データサイズ 32 リターン信号165
変調 · · · · · · 503	データライン162
変調波 · · · · · · 505	バイトイネーブルビット165
変調方法507	バースト信号・・・・・・169
変復調装置・・・・・・503	ビデオ拡張・・・・・・・162
##	ビデオデータライン・・・・・・163
木	ブランキング信号163
ボー・・・・・・・508	プリエンプト信号169
ボイスコイル・・・・・・・625	マイクロチャネル 16 ビット拡張158
ポインタ・・・・・・125	マイクロチャネル 32 ビット拡張159, 160
方位角 · · · · · · · 724	マイクロチャネル 32 ビットマッチドメモリ拡張160
放射制限 · · · · · · 280	マイクロチャネル8ビット部157
放射線防護416	マイクロチャネル補助ビデオ拡張・・・・・・160
飽和状態	マックドメモリサイクルリクエストライン165
保護期間・・・・・・519	マッチドメモリコマンド信号165
保護帯域・・・・・・506	マッチドメモリサイクル信号165
保護バンド・・・・・・724	メモリアドレスイネーブル 24 信号165
ポジショニングコード	マイクロチャネルの電波干渉162
端末の~28	マイクロ波411
保磁力 · · · · · · 548, 700	マイクロ波放射413
ホストアダプタ 673	マイクロプロセッサ・・・・・・37
ホストアダプタカード・・・・・・562	~の機能・・・・・・50
ポータブル PC の割り込み······224	マウス・・・・・・・290, 302
ポータブルコンピュータの電源 237, 240	マウスカーソル・・・・・・・302
ポラリティ・・・・・396	マウスのアクセラレーション機能310
ポーレート508	マウスの解像度 309
THE COUNTY OF THE PARTY OF THE	マウスの制御コード304
₹ 31 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1	マウスのボタン・・・・・・303
マイクロコード	マウスポート・・・・・・302
数値演算コプロセッサの~ 89	マークパリティ・・・・・・・・・・・・・・・・・・481
マイクロプロセッサの~51	マーク変調・・・・・・508
マイクロチャネル・・・・・・・147, 226, 313, 364	マザーボード・・・・・・・35
マイクロチャネル 2・・・・・・167	AT Ø~40
マイクロチャネルアーキテクチャ・・・・・・156	IBM PC の~・・・・・・40
マイクロチャネル規格・・・・・・156	XT Ø~40
マイクロチャネルの DMA · · · · · · 228	省スペース PC の~ · · · · · · 41
マイクロチャネルのコネクタ・・・・・・160	マスク ROM · · · · · · 113
マイクロチャネルの信号	マスク不能割り込み150, 223
ESYNC信号163	マスコプロセッサ・・・・・・89
アドレスライン162	マスストレージ・・・・・・・25, 109

マスタドライプ 575	1 2 7 11 11 10
待ち時間・・・・・・・618	メモリリード・・・・・・・158
待ち状態	メモリリフレッシュ・・・・・・179
And the contract of the contra	E
メモリアクセスの~・・・・・・116	
マッチドメモリ・・・・・・・165	文字認識システム・・・・・・312
マップマスキング・・・・・・378	モジュラー BIOS・・・・・・197
マトリックス387	モジュラコネクタ・・・・・・300
マルチスキャンカラーディスプレイ・・・・・・・405	モジュラージャック 529
マルチスキャンディスプレイ(モニタ) ・・・・・・373, 366	モデム・・・・・・・485
マルチスキャンモノクロディスプレイ・・・・・・404	モデム制御519
マルチタスク・・・・・・71	モデムの圧縮機能
マルチタスク環境430	モデムの規格・・・・・・・513, 534
マルチプルマスタフォント・・・・・・・457	モデムのスイッチ設定532
マルチプレクス・・・・・・505	モデムの速度・・・・・・534
マルチユーザー環境430	モデムの配線・・・・・・531
_	モデムのパッケージ・・・・・・・534
Ξ.	モデムの品質・・・・・・535
$\xi = AT \cdots 263$	モデル 5100 ・・・・・・・20, 24
ミニカートリッジ・・・・・・ 718	モデルバイト・・・・・・202
ミニカートリッジの互換性・・・・・・723	モニタ 383
ミニコンピュータ・・・・・・・20	モノクロ VGA モニタ · · · · · · · 350
ミニスカート (拡張ボードの) ・・・・・・・・・・・・・・・・・173	モノクロディスプレイ・・・・・・・403
ミニタワー型ケース266	モレックスコネクタ・・・・・・245
Д	그
無線周波数干渉 276	有効数字 89
無損失圧縮・・・・・・554	ユニバーサルリンクネゴシエーション・・・・・・515
· ·	
無損失圧縮・554無損失圧縮システム・554	
無損失圧縮554無損失圧縮システム554無停電電源248	ユニバーサルリンクネゴシエーション············515
無損失圧縮・554無損失圧縮システム・554	ユニバーサルリンクネゴシエーション・・・・・515 ヨ 用紙・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
無損失圧縮554無損失圧縮システム554無停電電源248	ユニバーサルリンクネゴシエーション・・・・515 ヨ 用紙・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
無損失圧縮・ 554 無損失圧縮システム・ 554 無停電電源・ 248 無停電電源システム・ 250	ユニバーサルリンクネゴシエーション 515 ヨ 用紙 466 用紙の処理 461, 468 用紙の制御 463
無損失圧縮・ 554 無損失圧縮システム・ 554 無停電電源・ 248 無停電電源システム・ 250 メ メッシュ・・ 393	ユニバーサルリンクネゴシエーション 515 コ 用紙 466 用紙の処理 461, 468 用紙の制御 463 ョーク 383
無損失圧縮・ 554 無損失圧縮システム 554 無停電電源・ 248 無停電電源システム 250 メ メッシュ・ メディア・ 591	ユニバーサルリンクネゴシエーション -515 国 用紙・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
無損失圧縮・ 554 無損失圧縮システム・ 554 無停電電源・ 248 無停電電源システム・ 250 メ メッシュ・ 393 メディア・ 591 メモリ・ 25, 37, 57	ユニバーサルリンクネゴシエーション - 515 ヨ 用紙・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
無損失圧縮・ 554 無損失圧縮システム・ 554 無停電電源・ 248 無停電電源システム・ 250 メ メッシュ・ 393 メディア・ 591 メモリ・ 25, 37, 57 メモリエラー・ 140	ユニバーサルリンクネゴシエーション515ヨ用紙466用紙の処理461, 468用紙の制御463ヨーク383子備電源システム248, 249読み書きヘッド623読み書きメモリ113
無損失圧縮・ 554 無損失圧縮システム・ 554 無停電電源・ 248 無停電電源システム・ 250 メ メッシュ・ 393 メディア・ 591 メモリ・ 25, 37, 57 メモリエラー・ 140 大型コンピュータの~ 25	ユニバーサルリンクネゴシエーション -515 コ 用紙 466 用紙の処理 461, 468 用紙の制御 463 ヨーク 383 予備電源システム 248, 249 読み書きヘッド 623 読み書きメモリ 113 読み出し専用メモリ 112
無損失圧縮・ 554 無損失圧縮システム・ 554 無停電電源・ 248 無停電電源システム・ 250 メ メッシュ・ 393 メディア・ 591 メモリ・ 25, 37, 57 メモリエラー・ 140 大型コンピュータの~ 25 ~の発見・ 141	ユニバーサルリンクネゴシエーション515ヨ用紙466用紙の処理461, 468用紙の制御463ヨーク383子備電源システム248, 249読み書きヘッド623読み書きメモリ113
無損失圧縮・ 554 無損失圧縮システム 554 無停電電源・ 248 無停電電源システム 250 メ メッシュ・ 393 メディア・ 591 メモリ・ 25, 37, 57 メモリエラー・ 140 大型コンピュータの~ 25 ~の発見・ 141 メモリキャッシュ 118	ユニバーサルリンクネゴシエーション 515
無損失圧縮・ 554 無損失圧縮システム 554 無停電電源・ 248 無停電電源システム 250 メ メッシュ・ 393 メディア・ 591 メモリ・ 25, 37, 57 メモリエラー・ 140 大型コンピュータの~ 25 ~の発見・ 141 メモリキャッシュ 118 メモリ効果・ 241	コニバーサルリンクネゴシエーション 515 用紙 466 用紙の処理 461, 468 用紙の制御 463 ヨーク 383 予備電源システム 248, 249 読み書きヘッド 623 読み書きメモリ 113 読み出し専用メモリ 112 読み取りバッファ 584
無損失圧縮・ 554 無損失圧縮システム 554 無停電電源・ 248 無停電電源システム・ 250 メ メッシュ・ 393 メディア・ 591 メモリ・ 25, 37, 57 メモリエラー・ 140 大型コンピュータの~ 25 ~の発見・ 141 メモリキャッシュ・ 118 メモリ効果・ 241 メモリコントローラ・ 115	コニバーサルリンクネゴシエーション 515 コ 用紙 466 用紙の処理 461, 468 用紙の制御 463 ョーク 383 子備電源システム 248, 249 読み書きヘッド 623 読み書きメモリ 113 読み出し専用メモリ 112 読み取りバッファ 584 ラ
無損失圧縮・ 554 無損失圧縮システム 554 無停電電源・ 248 無停電電源システム 250 メ メッシュ・ 393 メディア・ 591 メモリ・ 25, 37, 57 メモリエラー 140 大型コンピュータの~ 25 ~の発見・ 141 メモリキャッシュ 118 メモリ効果・ 241 メモリコントローラ・カートアレイ 364, 370	コニバーサルリンクネゴシエーション 515
無損失圧縮・ 554 無損失圧縮システム 554 無停電電源・ 248 無停電電源システム 250 メ メッシュ・ 393 メディア・ 591 メモリ・ 25, 37, 57 メモリエラー 140 大型コンピュータの~ 25 ~の発見・ 141 メモリキャッシュ 118 メモリ効果・ 241 メモリコントローラ・ 115 メモリコントローラゲートアレイ 364, 370 メモリ最適化技術・ 118	コニバーサルリンクネゴシエーション 515
無損失圧縮・ 554 無損失圧縮システム 554 無停電電源・ 248 無停電電源システム 250 メ メッシュ・ 393 メディア・ 591 メモリ・ 25, 37, 57 メモリエラー 140 大型コンピュータの~ 25 ~の発見・ 141 メモリキャッシュ・ 118 メモリ効果・ 241 メモリコントローラ・ 115 メモリコントローラゲートアレイ 364, 370 メモリ最適化技術・ 118 メモリスピード・ 116	コニバーサルリンクネゴシエーション 515
無損失圧縮・ 554 無損失圧縮システム 554 無停電電源・ 248 無停電電源システム 250 メ メッシュ・ 393 メディア・ 591 メモリ・ 25, 37, 57 メモリエラー 140 大型コンピュータの~ 25 ~の発見・ 141 メモリキャッシュ・ 118 メモリ効果・ 241 メモリコントローラ・ 115 メモリコントローラゲートアレイ 364, 370 メモリ最適化技術・ 118 メモリスピード・ 116 メモリバンク・ 118	コニバーサルリンクネゴシエーション 515
無損失圧縮・ 554 無損失圧縮システム 554 無停電電源・ 248 無停電電源システム 250 メ メッシュ・ 393 メディア・ 591 メモリ・ 25, 37, 57 メモリエラー・ 140 大型コンピュータの~ 25 ~の発見・ 141 メモリキャッシュ・ 118 メモリ効果・ 241 メモリコントローラ・ 115 メモリコントローラゲートアレイ 364, 370 メモリ最適化技術・ 118 メモリスピード・ 116 メモリバンク・ 118 メモリバンク・ 118	コニバーサルリンクネゴシエーション 515
無損失圧縮・ 554 無損失圧縮システム 554 無停電電源・ 248 無停電電源システム・ 250 メ メッシュ・ 393 メディア・ 591 メモリ・ 25, 37, 57 メモリエラー・ 140 大型コンピュータの~ 25 ~の発見・ 141 メモリキャッシュ・ 118 メモリカ果・ 241 メモリコントローラ・ 115 メモリコントローラゲートアレイ・ 364, 370 メモリ最適化技術・ 118 メモリスピード・ 116 メモリバンク・ 118 メモリマップ・ 123 メモリマップ・ 123 メモリマップ・ 123	コニバーサルリンクネゴシエーション 515 I 用紙 466 用紙の処理 461, 468 用紙の制御 463 ヨーク 383 子備電源システム 248, 249 読み書きヘッド 623 読み書きメモリ 113 読み出し専用メモリ 112 読み取りバッファ 584 ラ ライザーボード 264 ライトスルーキャッシュ 77, 120 ライトブロテクション 598 ライトプロテクション 598 ライトプロテクトノッチ 596 ライトペン 310, 388
無損失圧縮・ 554 無損失圧縮システム 554 無停電電源・ 248 無停電電源システム・ 250 メ メッシュ・ 393 メディア・ 591 メモリ・ 25, 37, 57 メモリエラー・ 140 大型コンピュータの~ 25 ~の発見・ 141 メモリキャッシュ・ 118 メモリ効果・ 241 メモリコントローラ・ 115 メモリコントローラゲートアレイ 364, 370 メモリ最適化技術・ 118 メモリスピード・ 116 メモリバンク・ 118 メモリマップ・ 123 メモリマップ・ 123 メモリマップ・ 123 メモリマップ・ 123 メモリマップ・ 130	コニバーサルリンクネゴシエーション 515 I 用紙 466 用紙の処理 461, 468 用紙の制御 463 ヨーク 383 予備電源システム 248, 249 読み書きヘッド 623 読み書きメモリ 113 読み出し専用メモリ 112 読み取りバッファ 584 ラ ライザーボード 264 ライトスルーキャッシュ 77, 120 ライトブロテクション 598 ライトプロテクトノッチ 596 ライトペン 310, 388 ライン
無損失圧縮・ 554 無損失圧縮システム 554 無停電電源・ 248 無停電電源システム 250 メ メッシュ・ 393 メディア・ 591 メモリ・ 25, 37, 57 メモリエラー 140 大型コンピュータの~ 25 ~の発見・ 141 メモリキャッシュ 118 メモリカ果・ 241 メモリコントローラ 115 メモリコントローラ 115 メモリコントローラゲートアレイ 364, 370 メモリ最適化技術・ 118 メモリスピード 116 メモリスピード 116 メモリマップ・ 123 メモリマップ・ 123 メモリマップ・ 130 メモリマネージメントプログラム 130 メモリマネージメントプログラム 130 メモリマネージメントプログラム 131, 132, 138	コニバーサルリンクネゴシエーション 515
無損失圧縮・ 554 無損失圧縮システム 554 無損失圧縮システム 554 無停電電源・ 248 無停電電源システム 250 メ メッシュ 393 メディア・ 591 メモリ・ 25, 37, 57 メモリエラー・ 140 大型コンピュータの~ 25 ~の発見・ 141 メモリキャッシュ 118 メモリコントローラ・ 115 メモリコントローラ・ 115 メモリコントローラゲートアレイ 364, 370 メモリ最適化技術・ 118 メモリスピード・ 116 メモリバンク・ 118 メモリマップ・ 123 メモリマップ・ 123 メモリマップ・ 123 メモリマップ・ 130 メモリマネージメントプログラム 130 メモリモジュール・ 131, 132, 138 ~の構成・ 138	コニバーサルリンクネゴシエーション 515
無損失圧縮・ 554 無損失圧縮システム 554 無停電電源・ 248 無停電電源システム 250 メ メッシュ・ 393 メディア・ 591 メモリ・ 25, 37, 57 メモリエラー 140 大型コンピュータの~ 25 ~の発見・ 141 メモリキャッシュ 118 メモリカ果・ 241 メモリコントローラ 115 メモリコントローラ 115 メモリコントローラゲートアレイ 364, 370 メモリ最適化技術・ 118 メモリスピード 116 メモリスピード 116 メモリマップ・ 123 メモリマップ・ 123 メモリマップ・ 130 メモリマネージメントプログラム 130 メモリマネージメントプログラム 130 メモリマネージメントプログラム 131, 132, 138	コニバーサルリンクネゴシエーション 515 日紙 466 用紙 466 用紙の処理 461, 468 用紙の制御 463 ヨーク 383 子備電源システム 248, 249 読み書きヘッド 623 読み書きメモリ 113 読み出し専用メモリ 112 読み取りバッファ 584 ラ ライザーボード 264 ライトズルーキャッシュ 77, 120 ライトブロテクション 629, 631 ライトプロテクトノッチ 596 ライトプロテクトノッチ 596 ライトペン 310, 388 ライン キャッシュの~ 119

らせんトラック・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	557
ラッチ機能	
ラップトップのキーボード・・・・・	
ラップトップのケース・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
ランダムアクセス・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
ランダムアクセス装置	557
ランダムアクセスメディア・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
ランダムアクセスメモリ	
ランダム転送	
マイクロチャネルの~・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	167
ランディングゾーン・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	626, 627
ランレングス制限記録方式	
IJ	
リアルタイムクロック・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	222
リアルモード・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
リアルモードメモリ	
リエントラントな BIOS · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
リザルトコード・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
リース回線モデム・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
リチウム一次電池	
リードソロモンコード	
リトレース・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
リニア電源・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	234
リニア電源····· リニアレギュレータ·····	234
リニア電源・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	234 234
リニア電源 リニアレギュレータ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	234 234
リニア電源・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	234 234 67 210
リニア電源 リニアレギュレータ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
リニア電源・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	

レーザープリンタ・・・・・・・439
レーザープリンタの解像度・・・・・・・・442
レジスタ
数値演算コプロセッサの~ · · · · · · 92
マイクロプロセッサの~・・・・・・50,62
レジスタ互換
VGA ∅~367
レジスタパック・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
レジュームインストラクション74
レゾリューションエンハンスメント443
レタークオリティプリンタ・・・・・・・435
レベルセンシティブ割り込み226
レベルセンス割り込み164, 178
連邦通信委員会 276
ローカルバス・・・・・・121, 146, 181, 197, 331, 332
ローカルバスの規格186
ローカルバスの互換性・・・・・・183
ローカルバスのスロット数・・・・・184
ローカルバスの電気的制限・・・・・・183
ロケーション キャッシュラインの~・・・・・・119
キャッシュラインの~・・・・・・119
ロジックゲート
ロジックシーキング・・・・・・・464
ロジックボード・・・・・・・・・36
ローラーベッドプロッタ・・・・・・・・471
ロールフィード・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
論理演算装置 マイクロプロセッサの~
₹17070 e y y 00 ~ 01
ワ
ワイヤレスマウス・・・・・・・308
ワックス転写・・・・・・・・・・434
7- F 110, 480
割り込み・・・・・・313
割り込みコントローラ・・・・・・223
割 n th 云 制御
EISA Ø~178
割り込みの共有・・・・・・・226
割り込みの不足・・・・・・155
割り込みベクタ・・・・・・125, 198
割 n 认 A 更求313

■著者紹介

本書の著者 Winn L. Rosch は、1981 年からパーソナルコンピュータに関する著述活動を始め、今日までおよそ1千冊近くに及ぶ著作が出版されている。それらの著作は、パーソナルコンピュータに関する論評からハウツーガイド、ニューテクノロジーの背景に至るまでを広く網羅したものである。1987 年には、その中の1つが Computer Press Association の "Best feature article of the year" に選ばれ、1990 年には別の著作で同賞の次点を授賞している。最新作は、『The Winn L. Rosch PC Upgrade Bible』(Brady, 1991 年)、『The Micro Channel Architecture Handbook』(共著, Brady, 1990 年)である。現在著者は、『PC Magazine』、『PC Week』、『PC Source』、『Computer Shopper』の監修者として同誌に寄稿している。また、その記事や著書はフランス、イタリア、ドイツ、ギリシャ、ポルトガルなど様々な国で翻訳出版されている。

Winn L. Rosch は、著作活動のかたわら、オハイオ州で州認定弁護士を務め、法学博士という肩書きも持つ。また、Ohio State Bar Association's Computer Law committee の任命により、現在もその委員の任に就いている。

著者の職歴は、フォトジャーナリスト、エレクトロニクスジャーナリスト、放送関係のエンジニアといった 多彩なもので、過去には 10 年間にわたってオハイオ州最大の日刊紙である『The Cleveland Plain Dealer』紙で、ステレオやビデオ製品についてのコラムを担当し、定期的にライフスタイル関連の特集記事や写真なども寄稿していた。クリーブランド在住の現在も、いくつかのラジオ局ではチーフエンジニアとして、さらに、NBC や CBS ネットワークのエレクトロニクス関連番組のプロジェクトに参加し、活躍を続けている。

余暇には、自宅の冷蔵庫で自然発生の実験を試みたり、先カンブリア紀についての文献研究も欠さない ということである。

■翻訳・監修

神代敏彦(くましろ・としひこ) 株式会社アクシス 代表取締役社長

■編集協力

菅野 康一

●本書の内容に関するご質問は、小社スーパーアスキー編集部まで、封書(返信用切手同封のこと)にてお願い致します。
 電話によるお問い合わせには、応じられません。
 なお、本書の範囲を越える質問に関しては、お答えできない場合もあります。

●落丁・乱丁本は、送料当社負担にてお取り替え致します。 お手数ですが、小社営業部までご返送ください。

IBM PC ハードウェアバイブル

1994年8月11日 初版発行

著者 Win L. Rosch 監訳 神代敏彦 発行人 宮崎 秀規

編集人 土屋 信明

発行所 株式会社アスキー

〒151-24 東京都渋谷区代々木4-33-10

振 替 00140-7-161144 大代表 (03)5351-8111

出版営業部 (03)5351-8194 (ダイヤルイン)

スーパーアスキー編集部 (03)5351-8125 (ダイヤルイン)

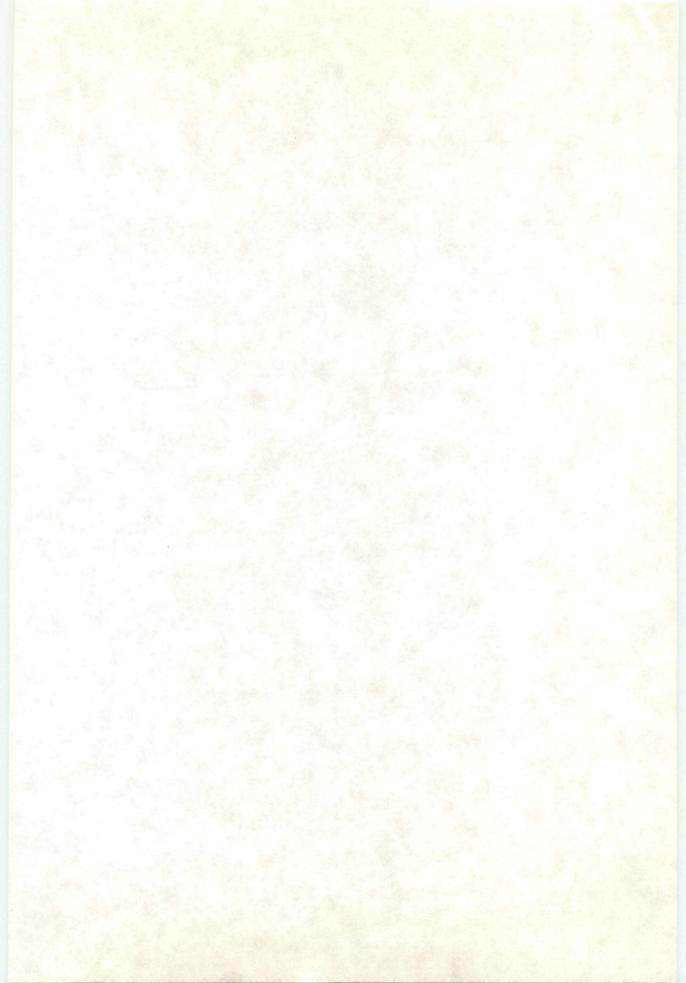
本書は著作権法上の保護を受けています。本書の一部あるいは全部 について (ソフトウェア及びプログラムを含む)、株式会社アスキー から文書による許諾を得ずに、いかなる方法においても無断で複写、 複製することは禁じられています。

制 作 株式会社GARO 印 刷 大日本印刷株式会社

編 集 竹田 善太郎/佐々木 三奈

ISBN4-7561-0294-8

Printed in Japan





定価●6,800円[本体6,602円]



9784756102942



1913033006002

ISBN4-7561-0294-8 c3055 P6800E

